

東海大學物理系
碩士論文

指導教授：蕭錫鍊 博士

電漿輔助化學氣相合成筆直直立矽奈米柱之研究
Synthesis of Vertically Oriented Silicon Nanorods by
Plasma Chemical Vapor Deposition

研究生：王英儒

中華民國一百年八月

誌謝

有機會在誌謝這篇幅逐一細數必須感謝的人，這難以言語的榮耀，單依靠我個人絕對無法獲得的。首要感謝的人，莫過於我的指導老師蕭錫鍊老師，以及楊安邦老師，如果沒有她們有教無類的耐心，就不可能讓一個非常缺乏物理專業知識的學生，由無到有，在短短的碩士求學期間學習到物理專業與物理邏輯的思考，這是在職場工作了10年也換不來的。因此我必須深表感謝。此外還必須感謝我的父母，王慶山先生、翁淑真女士他們背後的支持，兄長王冠儒在課業上的指導，還有黃千芳在日常生活的幫忙。

實驗室裡首要感謝的莫過於亦師亦友的陳正庸，指導我許多知識上的缺憾，更是我實驗上最大的助手；再來就是張祖齊在最後階段於實驗上給於我莫大的幫助；還有陳佩玟即使自己課業忙碌，也撥空熬夜幫忙。畢業的學長，以指導我儀器學習的陳勤傑與張傑倫為最。還有一位李東禧學長、阮詠禎及楊卓俐常常鼓勵我。同儕間非常感謝徐銘慶在實驗設備上總是禮讓我。還有沈冠瑜、陳紀羽、江宗益、李奕松、張維棟、王嘉琪、呂尚耘，很榮幸有機會與他們同處一實驗室學習。於此再次致敬感謝。

中文摘要

熱燈絲輔助化學氣相沉積法，雖然成功地在非晶基板上成長出筆直矽奈米柱，但是卻遭遇了三項嚴重的問題：1.熱燈絲嚴重的衰減，造成製程的重複性差；2.矽奈米柱的材料品質不佳，例如，表面不平整與表面結構不緻密等；3.奈米柱成長初期並不會均勻地垂直於基板方向成長。本研究希望利用自行設計的電漿輔助化學氣相沉積系統，解決熱燈絲輔助化學氣相沉積系統在成長矽奈米柱上遭遇的問題，並於非晶基板上成長出筆直矽奈米柱。此研究並將依據電漿輔助化學氣相沉積之系統特性，尋找出矽奈米柱成長於二氧化矽基板上的最佳製程條件。

本研究採用電容耦式(Capacitively coupled)電漿輔助化學氣相沉積系統進行黃金金屬催化矽奈米柱之合成製程。我們於電漿輔助化學氣相沉積系統之反應腔體內加裝石英爐管，此石英爐管將上電極的氣體導流板(shower head)，與下電極的加熱器(heater)環罩管內，藉此將製程氣體侷限於兩電極之間，而不至於快速擴散出兩電極範圍；當電漿激發後，可以藉由石英爐管將電漿作用範圍侷限住，藉此有效地提高解離率，並提高電漿密度。同時，當電漿被侷限於兩電極之間時，電極的周圍會產生電漿鞘層(plasma sheath)，由於邊界效應的影響，當電漿鞘形成垂直於電極的電場時，此電場可誘導矽奈米柱筆直成長

於二氧化矽非晶基板上。此為本研究可利用設計改良之電漿輔助化學氣相沉積系統於二氧化矽非晶基板上成長筆直矽奈米柱的關鍵。

本研究在探討製程條件上，藉由調變射頻電漿功率、電極距離、製程氣體流量與製程壓力，產生最佳電漿效果；利用此製程條件本實驗室成功於二氧化矽基板上，成長出高品質之筆直矽奈米柱。

Abstract

Hot wire chemical vapor deposition (HW-CVD) is facing three major difficulties in nanorod growth even though it is successfully grown Si nanorods on amorphous substrates. (1) The reproducibility is highly affected by the aging of the hot filament. (2) Material quality of the nanorods grown on amorphous substrates using HW-CVD is always poor with rough surface and voids. (3) In the initial stage of nanorod growth, the nanorods cannot be regularly aligned along the growth direction that is perpendicular to the substrate surface.

To design a new plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) system, this study is aimed at producing high quality and vertically aligned Si nanorods on amorphous substrates. We also provide a solution to overcome the major problems for the Si nanorod growth that have been found in HW-CVD. In this work, I have optimized the growth conditions of the Si nanorods on SiO₂ substrate using the newly designed home-made PECVD system.

Si nanorods are grown with gold metal catalyst in our newly designed home-made capacitively coupled PECVD system. In this home-made PECVD system, we have designed an extra quartz furnace as a reactor chamber and put it inside the PECVD system. For making parallel plate plasma CVD apparatus, we utilized the shower head as a top electrode, and the heater as a bottom electrode. This parallel plate plasma CVD apparatus is covered inside the quartz furnace in order to realize the unidirectional gas flow within the system. This design offers extra advantages that can be easily modulated and confined the plasma in the quartz furnace. Owing to this design, the ionization rate of the plasma is enhanced where the effectively plasma densities are also increased. Meanwhile, when the plasma is confined within the top- and bottom-electrodes, there is a plasma sheath generated in the edge of the apparatus. Because of the boundary effect, when the electric field induced by the plasma sheath is perpendicular to the top- and bottom-electrodes, this induced electric field is assisted to grow vertically aligned Si nanorods on amorphous SiO₂ substrate. This is the most important reason why we are able to grow well-aligned Si nanorods on amorphous SiO₂ substrate in our newly designed home-made capacitively coupled PECVD system.

By varying the power of the plasma, working distance, gas flow, and

working pressure in our newly designed home-made PECVD system, I have fine-tuned the growth conditions and achieved the high quality and vertically aligned Si nanorods on SiO₂ substrates.

.

目錄

誌謝.....	I
中文摘要.....	II
英文摘要.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VIII
表目錄.....	VIII
第一章 序論.....	1
1-1 前言.....	1
1-2 文獻回顧.....	2
1-3 研究動機.....	2
1-4 電漿系統的基本原理.....	3
第二章 實驗儀器裝置與原理.....	8
2-1 濺鍍系統.....	8
2-2 電漿化學氣相沉積系統.....	9
2-3 掃描式電子顯微鏡.....	11
第三章 實驗方法與步驟.....	6
3-1 實驗設備設計改良.....	6
3-2 實驗方向.....	6

3-3 實驗流程.....	17
3-4 設計調變製程條件.....	18
第四章 結果與討論.....	24
4-1 射頻功率對矽奈米柱合成之影響.....	24
4-2 電極距離對合成矽奈米柱之影響.....	24
4-3 製程環境改變對矽奈米柱合成之影響.....	25
4-4 邊界效應對合成矽奈米柱之影響.....	26
4-5 下電極接正偏壓與負偏壓對合成矽奈米柱之影響.....	26
4-6 下電極 Floating與Ground對合成矽奈米柱之影響.....	27
4-7 射頻電源供應器對合成矽奈米柱之影響.....	27
4-8 氫氣對合成矽奈米柱之影響.....	28
4-9 製程氣體流量比例調降對合成矽奈米柱之影響.....	29
4-10 特定參數定值時壓力對合成矽奈米柱之影響.....	29
4-11 固定較佳製程參數時壓力對合成矽奈米柱之影響.....	29
4-12 固定較佳製程參數時改變射頻功率對合成矽奈米柱之影響.....	30
第五章 結論.....	61
參考文獻.....	62

圖目錄

圖1-1 熱燈絲輔助成長筆直直立矽奈線樣品SEM圖.....	4
圖1-2 熱燈絲輔助成長原理示意圖.....	4
圖1-3 直立矽奈米柱成長原理示意圖.....	5
圖1-4 燈絲衰減重複性差示意圖.....	5
圖1-5 矽奈米柱表面不平整及結構鬆散樣品SEM圖.....	6
圖1-6 矽奈米柱成長初期不均勻垂直於基板樣品SEM圖.....	6
圖1-7 電漿系統示意圖.....	7
圖2-1 濺鍍製程中Ar ⁺ 轟擊靶材過程.....	13
圖2-2 電漿輔助化學氣相沉積系統 (PECVD).....	13
圖2-3 掃描電子顯微鏡主要構造示意圖.....	14
圖2-4 電子束與試片之作用.....	14
圖2-5 熱場發射掃描式電子顯微鏡硬體圖.....	15
圖3-1 本實驗室改良之電漿輔助化學氣相沉積系統.....	19
圖3-2 電漿系統形成電場示意圖.....	20
圖3-3 電漿鞘系統示意圖.....	20
圖3-4 石英爐管安裝示意圖.....	21
圖3-5 邊界效應區塊定義示意圖.....	21
圖4-1 射頻功率40瓦之樣品SEM圖.....	31

圖4-2 射頻功率60瓦之樣品SEM圖.....	32
圖4-3 射頻功率80瓦之樣品SEM圖.....	33
圖4-4 射頻功率40瓦、60瓦、80瓦樣品SEM比較圖.....	33
圖4-5 電極距離4公分之樣品SEM圖.....	34
圖4-6 電極距離6公分之樣品SEM圖.....	35
圖4-7 電極距離8公分之樣品SEM圖.....	36
圖4-8 電極距離4公分、6公分、8公分之樣品SEM比較圖.....	37
圖4-9 實驗環境改變前、後之樣品SEM圖比較圖.....	37
圖4-10 新製程環境之樣品SEM圖.....	38
圖4-11 邊界效應之樣品SEM圖A.....	38
圖4-12 邊界效應之樣品SEM圖A.....	39
圖4-13 正、負偏壓改變之樣品SEM圖.....	39
圖4-14 Floating與Ground之樣品SEM圖.....	40
圖4-15 射頻電源供應器改變之樣品SEM圖.....	41
圖4-16 氬氣氣體流量100sccm之樣品SEM圖.....	42
圖4-17 早期製程氣體流量設定之樣品SEM圖.....	43
圖4-18 製程氣體流量等比例調降之樣品SEM圖.....	44
圖4-19 壓力1torr、3torr、4torr調變之樣品SEM比較圖.....	45
圖4-20 壓力1torr調變之樣品SEM圖.....	45

圖4-21 壓力3torr調變之樣品SEM圖.....	46
圖4-22 壓力4torr調變之樣品SEM圖.....	47
圖4-23 較佳製程條件下壓力1torr之樣品SEM圖A.....	48
圖4-24 較佳製程條件下壓力1torr之樣品SEM圖B.....	49
圖4-25 較佳製程條件下壓力2torr之樣品SEM圖A.....	50
圖4-26 較佳製程條件下壓力2torr之樣品SEM圖B.....	51
圖4-27 較佳製程條件下壓力3torr之樣品SEM圖.....	52
圖4-28 依據較佳製程條件下調變壓力之樣品SEM比較圖.....	53
圖4-29 依據較佳製程條件下調變射頻功率50瓦之樣品SEM圖.....	53
圖4-30 依據較佳製程條件下調變射頻功率60瓦之樣品SEM圖.....	54
圖4-31 依據較佳製程條件下調變射頻功率70瓦之樣品SEM圖.....	54
圖4-32 射頻功率50瓦、60瓦、70瓦之樣品SEM比較圖.....	55

表目錄

表3-1 實驗起始製程條件參數A.....	22
表3-2 實驗起始製程條件參數B.....	22
表3-3 實驗環境改變測試參數.....	23
表4-1 射頻功率調變參數表.....	31
表4-2 電極距離調變參數表.....	32
表4-3 新製程條件參數表.....	33
表4-4 外加偏壓製程條件參數表.....	33
表4-5 下電極接地狀態製程條件參數表.....	34
表4-6 射頻電源供應器調變參數表.....	35
表4-7 氫氣氣體流量調變參數表.....	36
表4-8 各製程氣體流量等比例調降參數表.....	37
表4-9 壓力調變參數表.....	37
表4-10 依據較佳製程條件下調變壓力參數表.....	38
表4-11 依據較佳製程條件下調變壓力參數表.....	38

第一章 序論

1-1 前言

世界科技的日新月異總是依賴著人們為了突破當下的瓶頸，運用著所有古今與現代一切的智慧累積所孕育出來的，但是科技的背後卻讓人類背負了枯竭能源的罪惡，為此人類只能不斷的運用已發展的科技尋找更好的方法減緩能源枯竭的速度，太陽能電池的發展，便是當下科技產業努力的發展之一。為了追求更低成本、更高效的光捕捉效率，奈米科技的發展便不可忽視。

為了降低成本、提高效率，人們開始絞盡腦汁，希望藉由改變太陽能電池的原件，同時克服這兩項難題。因此積極的研究製程技術，而出現了矽奈米柱的太陽能薄膜電池。更進一步的希望可以控制矽奈米柱，讓矽奈米柱的成長筆直性高，不再雜亂無章。筆直度好的矽奈米柱，可以增加照光面積、入射光的路徑，提高效率。

熱燈絲輔助化學氣相沉積系統(HW-CVD)，是一項成功成長出筆直直立矽奈米柱的技術。現今已受廣泛應用的電漿技術，與熱燈絲輔助化學氣相沉積系統(HW-CVD)相同，於電漿化學氣相沉積系統(PECVD)中可以產生電場；在電漿中還擁有許多高活化能的自由基，這些自由基對於氣體的解離，幫助更是不亞於熱燈絲輔助化學氣相沉積系統。因此將電漿應用於輔助半導體製程上確實是一項非常值得發

展的技術。

1-2 文獻回顧

熱燈絲輔助化學氣相合成直立矽奈米柱(HW-CVD)如圖1-1所示：陳勤傑學長的研究中，利用熱燈絲輔助化學氣相沉積系統(HW-CVD)，通入之氣體分子與熱燈絲反應裂解，部分形成帶負電荷的離子，或燈絲熱游離產生的電子與氣體分子碰撞，但因能量不足以激發解離而附著於分子，形成帶負電的離子，沿著氣流的方向運動，熱電子的自由路徑很短，帶負電荷的離子順著氣流，往基板方向運動而累積在基板上如圖1-2所示。其中帶負電荷粒子累積於基板上，以及奈米柱表面及其金觸媒表面，當金觸媒表面累積負電荷，而排斥帶負電矽離子，將矽離子推擠往下至金觸媒底部析出，致使奈米柱垂直於基板方向成長如圖1-3所示。

1-3 研究動機

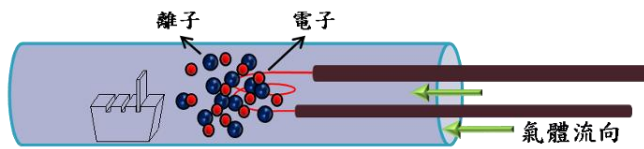
雖然熱燈絲輔助化學氣相沉積法，成功合成筆直直立矽奈米柱，但是卻有下面三項嚴重的缺陷：(1)燈絲嚴重的衰減及重複性差的問題。燈絲使用過程中會隨使用歷程，於燈絲表面累積碳化鎢，當燈絲表面碳化鎢，燈絲外層包覆越厚燈絲效果越差。因此為了維持合成矽奈米柱的品質必須隨時控制改變提高電流的強度圖1-4所示；(2)表面不平整與表面結構不緻密的問題。因負電荷累積於矽奈米柱表面，此

時矽奈米柱表面很容易吸附許多小分子團，造成其表面的不平整與結構不緻密如圖 1-5所示；(3)矽奈米柱成長初期不垂直於基板：熱燈絲輔助化學氣相合成矽奈米柱方法(HW-CVD)，矽奈米柱成長初期並不會均勻垂直於基板成長，必須等待基板及矽奈米柱上累積足夠電荷形成電場，才能促使其筆直直立成長如圖 1-6所示。

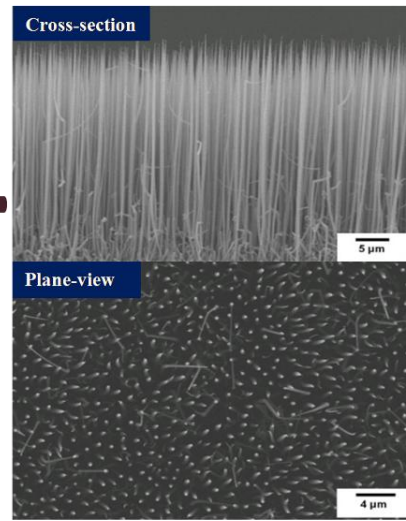
為了解決熱燈絲化學氣相合成奈米柱所遭遇到的三個問題，進而尋找其他的製程方式，尋找出擁有熱燈絲輔助化學氣相沉積系統(HW-CVD)的製程優點，亦能避免其缺點。因此選擇電漿輔助化學氣相沉積系統(PECVD)來加以研究，並根據該系統特性尋找出最佳的製程條件。

1-4 電漿系統的基本原理

簡單言之，電漿系統由兩片平行板電極，一端接地，一端接射頻電源供應器，由射頻電源供應器提供外加能量，加速自由電子，當電子累積足夠能量便可以激發解離通入兩電極之間的氣體分子，而產生許多高活化能的自由基，此既為電漿如圖1-7。



LPCVD-熱燈絲輔助成長
矽奈米線裝置



熱燈絲輔助成長直立矽奈米
線SEM圖

陳勤傑，東海大學物理系碩士論文，2009

圖1-1 熱燈絲輔助成長筆直直立矽奈米線樣品SEM圖

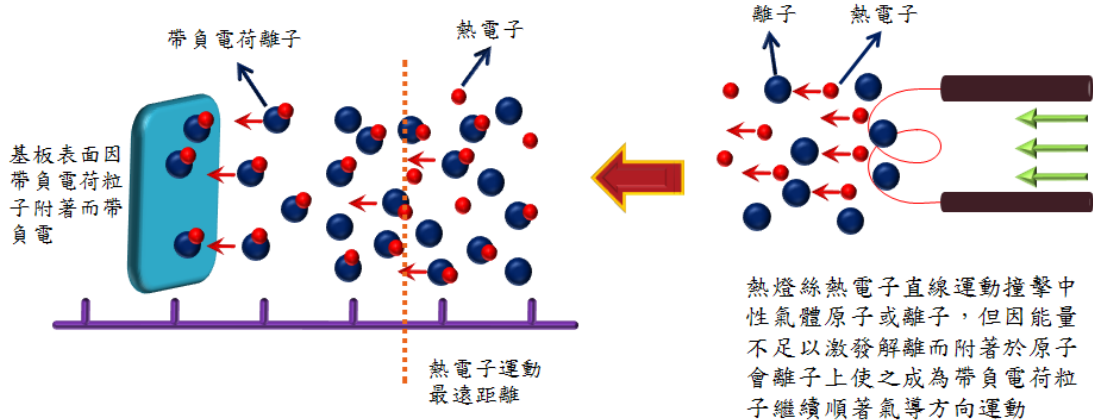


圖1-2 熱燈絲輔助成長原理示意圖

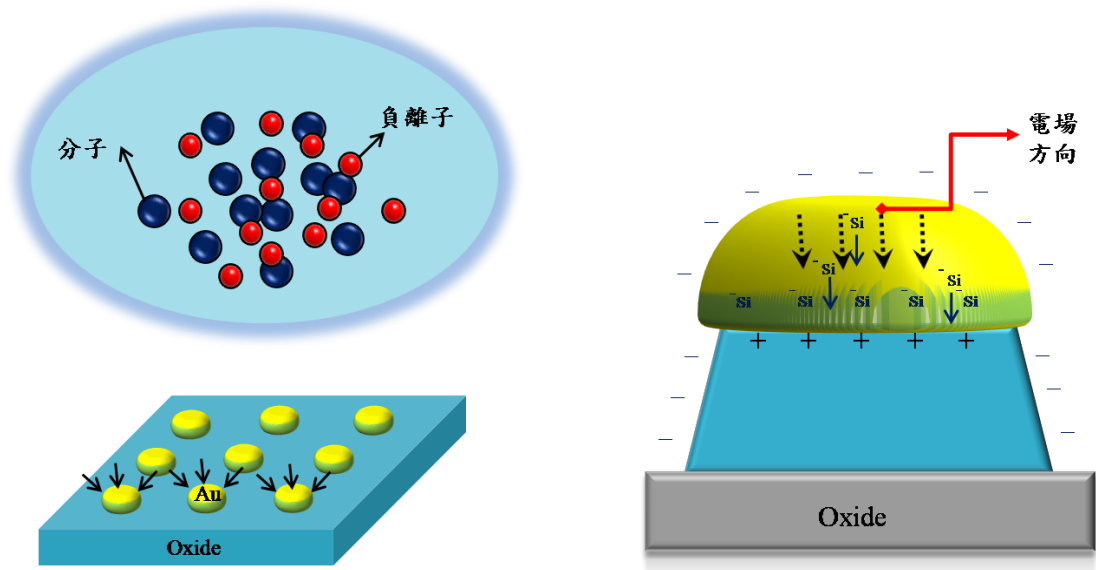


圖1-3 直立矽奈米柱成長原理示意圖

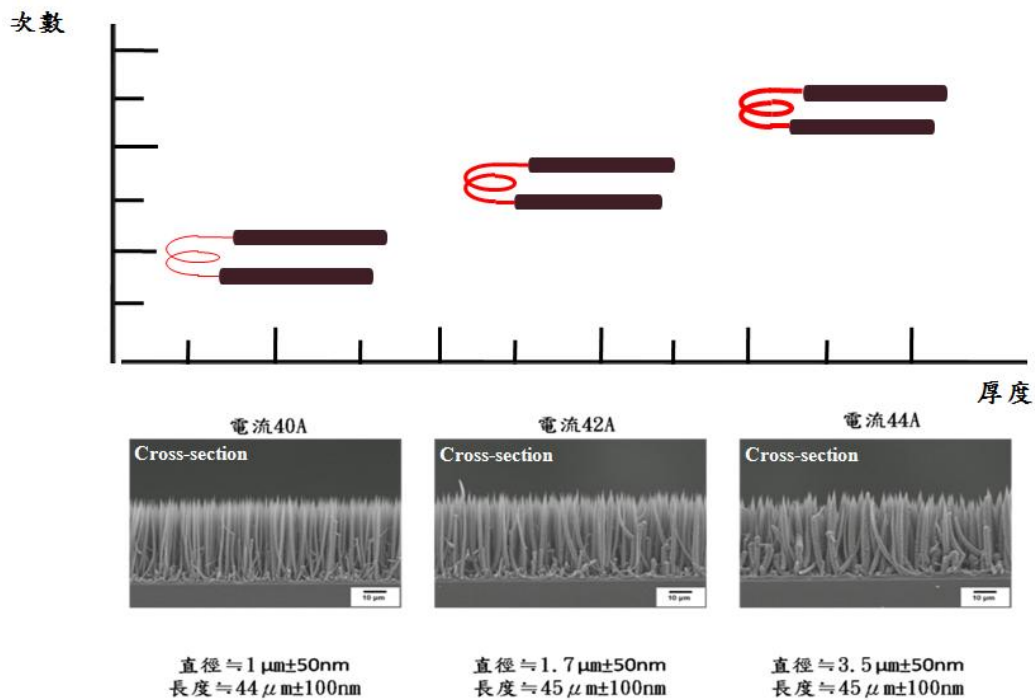


圖1-4 燈絲衰減重複性差示意圖

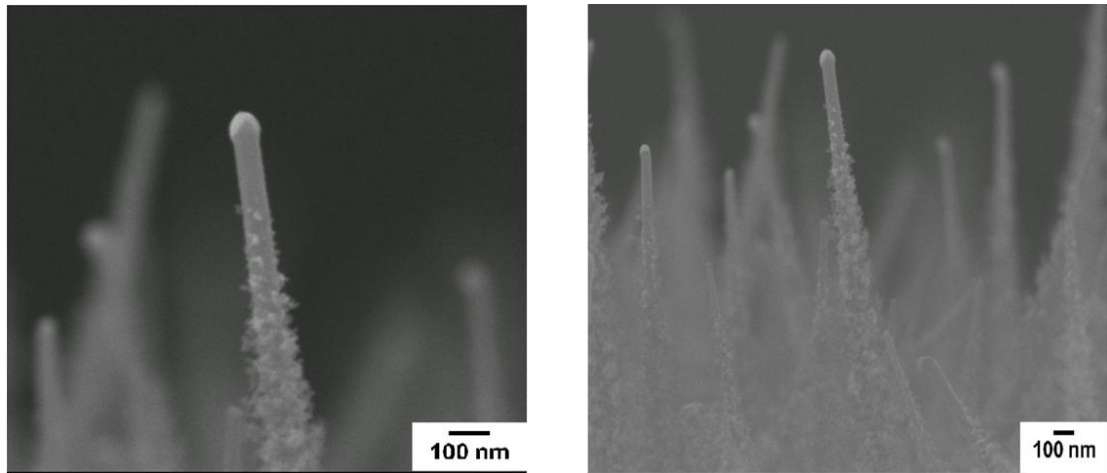


圖1-5 矽奈米柱表面不平整及結構鬆散樣品SEM圖

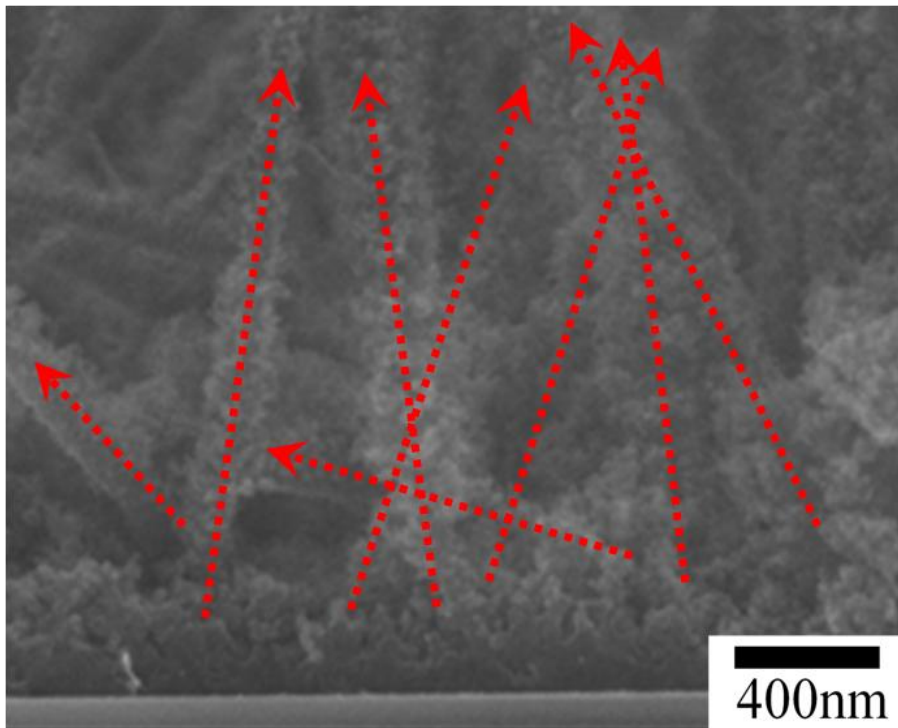


圖1-6 矽奈米柱成長初期不均勻垂直於基板樣品SEM圖

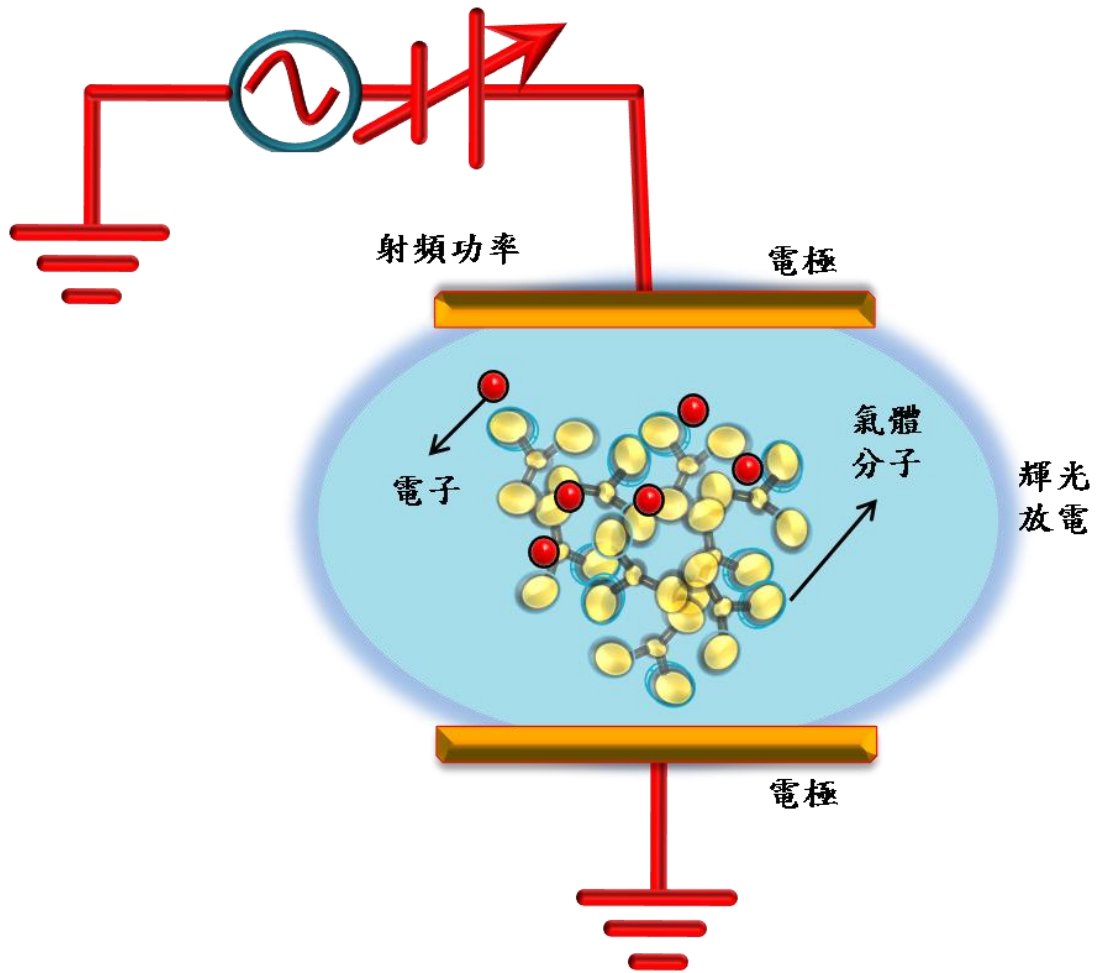


圖1-7 電漿系統示意圖

第二章 儀器與原理

2-1 濺鍍系統 (sputter system)

濺鍍沉積 (sputtering deposition) 是最常用的一種物理氣相沉積法(PVD)。它是利用帶有高能量的離子來轟擊靶材，物理性地從固態金屬表面撞擊出原子或是分子，並且在基片表面重新沈積，以形成一層薄的金屬薄膜，氬氣為濺鍍製程中常用的氣體，因為它是惰性、質量大以及豐沛的（大氣中約佔1%），是符合成本效益的氣體。

本實驗室所使用的濺鍍系統設備，其型號為JEOL日本電子出廠JFC-1600型自動精細濺射鍍膜儀 (Auto Fine Coater)，在低壓時當電壓施加在兩個電極之間時，自由電子將會被電場加速，並持續不斷的從電場獲得能量。當電子與中性的氬原子碰撞時，氬原子的外殼層軌道電子會從電子核的束縛中震出而變成一個自由電子，這就稱為離子化碰撞 (Ionization Collision)。這種碰撞會產生一個自由電子和一個帶正電的氬離子，而自由電子會重複離子化碰撞的過程，以產生更多的自由電子和離子，這些電子和離子不斷的藉著與閘極和反應室壁的碰撞以及電子離子的再結合而損失掉，而當他們的產生速率等於耗損速率時，就會達到穩定的狀態，並因此產生一個穩定的電漿，當負電荷電子被加速到稱為陽極的正偏壓電極時，正電荷的氬離子則同時被加速至負偏壓的陰極板，此陰極板通常稱為靶材。當這些帶能量的氬

離子撞擊到靶材表面時，靶材材料的原子會藉著撞擊離子的動量轉移而物理性地從表面被彈出。並且會以金屬蒸氣的形式被引入真空反應室中如圖2-1。

在原子或是分子離開靶材表面之後，它們會以金屬蒸氣的形式在真空反應室內行進著。最後，有些金屬蒸氣會到達晶圓的表面，吸附在表面上並且形成所謂的吸附原子（Adatoms）。吸附原子會在晶圓表面遷移，直至它們找到成核點（Nucleation Sites）或是一個可以黏附的位置而停留在那裡。其他的附著原子則會在凝聚於成核點的附近，而形成單晶結構的晶粒。當晶粒長成並且與其他的晶粒相遇時，它們就在晶圓表面形成一個連續性的多晶態金屬薄膜。

2-2 電漿輔助化學氣相沉積系統

（Plasma enhanced chemical vapor deposition system）

電漿輔助化學氣相沉積系統（簡稱PECVD）如圖2-2使用電漿能量輔助，使得能以較低反應溫度進行製程。而在電漿輔助化學氣相沉積系統中，由於電漿的作用會有光線放射出，因此又被稱為「輝光放射」（glow discharge）系統。電漿輔助化學氣相沉積系統的結構腔體內可見一組平行且正對的直徑兩吋不銹鋼電極，其上電極為與製程氣體引入結合之不銹鋼氣體導流板，可直接的將氣體導入上下電極之間進行反應，下電極則為可加熱的熱阻式加熱器，晶片則可放置於下電極

或反夾於上電極面。當在二個電極板間外加一個13.56MHz/300W或40.68MHz/600W的射頻電源供應器(radio frequency, 縮寫RF)電壓時,在上下電極間會有輝光放射的現象產生,稱為電漿,其中的反應物是化學活性較高的離子或自由基,而基板表面受到離子的撞擊時亦會使其化學活性提高。這兩項因素都可促進基板表面的化學反應速率,因此電漿化學氣相沉積系統可在較低的溫度進行反應,但電漿化學氣相沉積系統的缺點則是產量低,容易會有微粒的污染。在電漿化學氣相沉積系統中須要安裝真空幫浦,使沈積腔體內保持在所設定的低壓狀況,在以下描述。

(一) 抽氣幫浦系統 (Vacuum pumping system)

幫浦系統包含兩種幫浦,一種是機械幫浦 (mechanical pump) 另一種是渦輪分子幫浦 (turbo pump), 渦輪分子幫浦的抽氣速率為1100liter/sec。成長前腔體先利用機械幫浦抽至 1×10^{-3} torr再利用渦輪分子幫浦抽到 5×10^{-6} torr。

(二) 匯入氣體 (gas source)

實驗上所需要的氣體包括矽甲烷(SiH_4)、氫氣(H_2)及氬氣(Ar)。所有氣體在進入真空腔前分別經過流量控制器 (mass flow control) 控制流量。

(三) 廢棄處理系統 (scrubber system)

(A) ECS廢氣處理設備(local scrubber)

由於製程氣體中會釋放出有毒氣體廢氣，不能直接排放到大氣中會污染環境，所以必須經由高溫燃燒裂解使有毒氣體氧化或是分解成無毒或毒性較低的化合物之後再由抽氣系統將化合物帶到後半段的濕式洗滌系統中，將反應後的化合物的粉末過濾排放置收集的廢棄處理槽。

(B) 酸鹼排氣系統(central scrubber)

透過排風機提供負壓將local scrubber處理完之後的廢氣帶至洗滌塔中,洗滌塔具有氫氧化鈉含鹼性的水溶液，溶液會經過噴灑之後與廢氣進行酸鹼中和後再由活性炭與殘存氣體反應後在排至大氣。

2-3 掃描式電子顯微鏡(scanning electron microscope)

SEM主要構造示意如圖2-3所示。一般由電子槍產生電子束，經過若干組電磁透鏡所組成的電子光學系統，將電子數聚焦成一微小電子束，遮蔽孔徑選擇不同尺寸的電子束，接著掃描線圈利用磁場偏折電子束，將電子束在所需要觀察的試品上做二度空間的掃描，並且此掃描動作，與陰極射線管上的掃描動作同步。電子束照射在試片上，會產生二次電子、背向散射電子、特性X光、陰極發光...等如圖2-4，而在SEM上，主要是偵測二次電子及背向散射電子，若加裝EDS或WDS附件，則可以偵測特性X光作試片元素成分分析。電子槍是提供

電子的來源，電子束產生的方式會影響解析度的好壞，電子能量分布範圍越小，解析度也就越好。電子槍是用燈絲做為發射源，最常使用的電子槍分為兩大類：熱游離式及場發射式。熱游離式電子槍又分為鎢絲和六硼化鏷(LaB₆)兩種。此類的原理是利用加熱燈絲，高溫使電子具有足夠的能量克服電子槍材料的功函數(Work Function)，逃離材料表面。

另一種類為場發射式，場發射式電子槍可分為三種：冷場發射式、熱場發射式，以及蕭基發射式。原理是將燈絲加上一極細的針尖，在外加電場的作用之下，可以使位能障壁變小，因此電子可以直接穿隧通過能障離開陰極。由於電子是由尖銳的針尖發射出來，因此可以得到極細而又具有高電流密度的電子束。場發射式電子顯微鏡所得到的解析度比熱游離式電子顯微鏡高，但是所需要的真空度也較高。本實驗室所使用的熱場發射掃描式電子顯微鏡型號是日本製JEOL JSM-6500F如圖2-5。

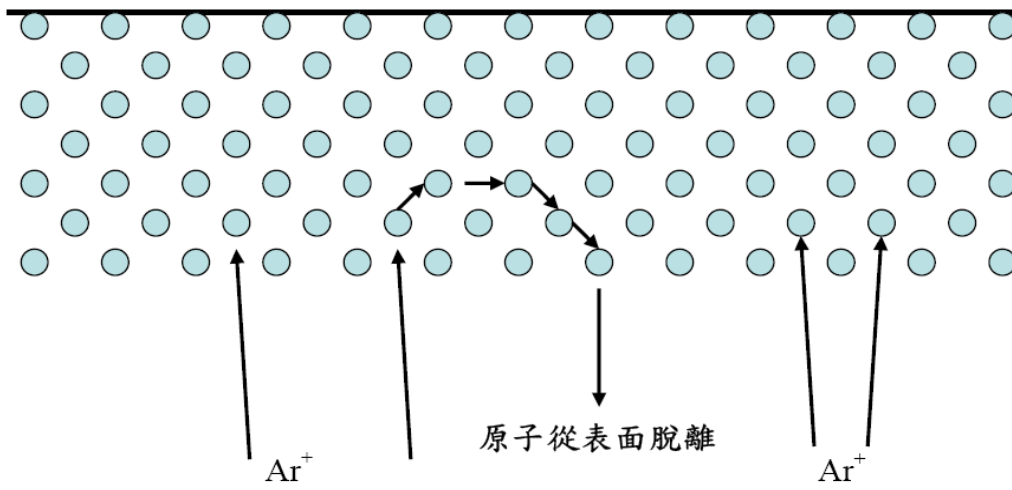


圖 2-1 濺鍍製程中 Ar^+ 轟擊靶材過程

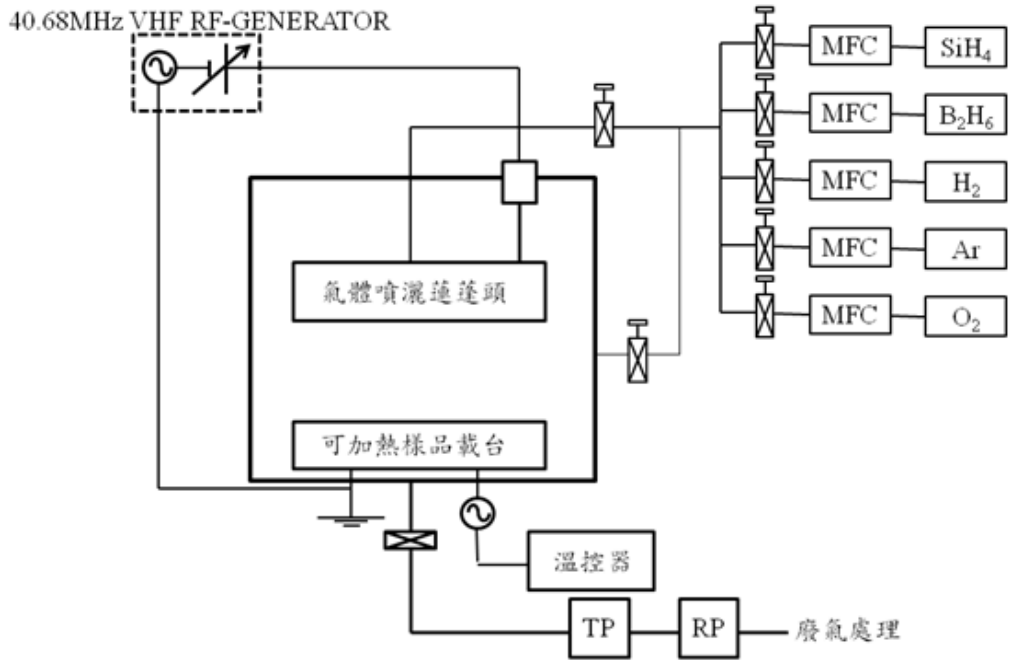


圖2-2 電漿輔助化學氣相沉積系統 (PECVD)

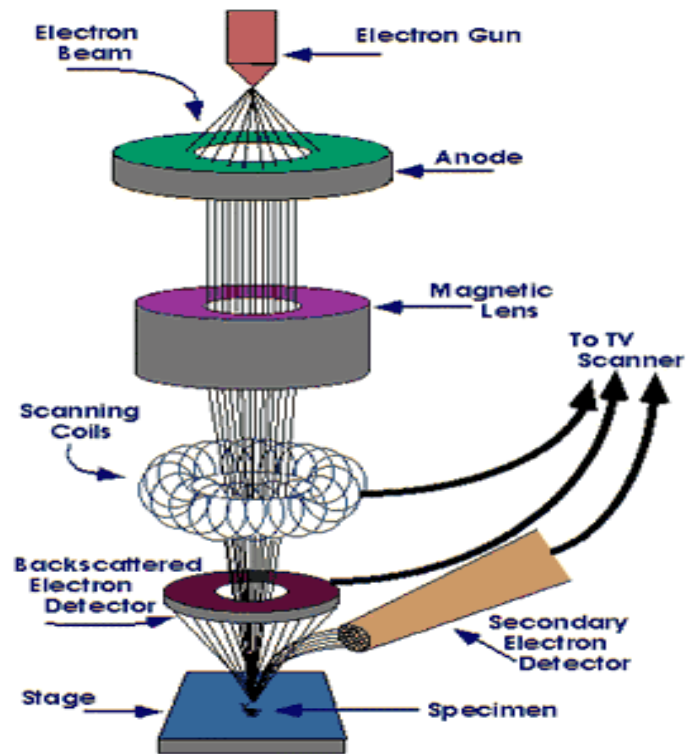


圖2-3 SEM主要構造示意圖

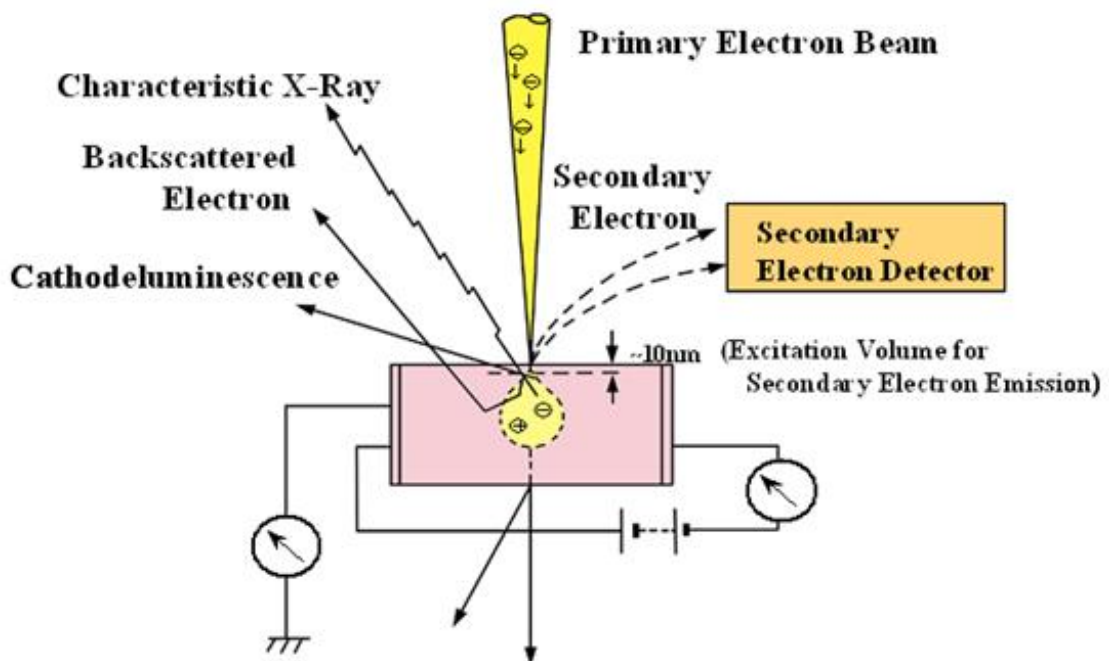


圖2-4 電子束與試片之作用



圖2-5 熱場發射掃描式電子顯微鏡硬體圖

第三章 實驗方法與步驟

3-1 實驗設備設計改良

本研究利用實驗室既有之真空原件及裝置，設計組裝並改良成製程用電漿化學氣相沉積系統(PECVD)如圖3-1。系統中以氣導流板(shower head)為上電極，加熱器(heater)為下電極；氣體管路銜接於氣體導流板，製程氣體由此通入真空腔體內之上、下電極間。加熱器為下電極，樣品置放於加熱器上，製程溫度由加熱器提供。

當電漿解離氣體分子，電漿中之電子，因為移動速度比離子快，所以會快速累積於電極及腔體，形成一電位降，進而產生電場如圖3-2。在系統中此電位降產生的電場範圍稱之為電漿鞘，本研究利用垂直於下電極的電漿鞘之電場，誘導限定矽奈米柱的成長方向如圖3-3。為了仿造類似低壓化學氣相沉積系統(LPCVD)的氣流方式，以及侷限電漿的範圍；於腔體內加裝一只石英爐管，此石英爐管將上、下電極環罩，氣體在兩電極間被解離產生電漿，電漿被石英爐管侷限在兩電極之間，如圖3-4。上電極石英爐管開口處，以鐵氟龍塊材加工製成的管蓋封住，下電極與石英爐管間縫隙為氣體流出石英爐管缺口，另外腔體真空抽氣開口設計於下電極正下方，加強單一氣流方向效果。

3-2 實驗方向

設計規劃以電漿化學氣相沉積系統(PECVD)，調變射頻功率、電極距離、製程壓力、製程溫度、氣體流量以及製程時間。依據學長的實驗結果推斷，製程溫度、製程氣體流量及製程時間應該差異不大，至於壓力部分，因為真空計裝置於腔體抽氣口端，並非裝置於石英爐管內，所以我們認為壓力讀值與實際石英爐管內之壓力值會有差異。為了確認可行的製程壓力，及依據製程系統性質考量，決定先固定製程氣體的流量、製程溫度、製程時間及製程壓力，改變電漿化學氣相沉積系統(PECVD)的射頻功率與電極距離開始調變參數如表

3-1，當有一定參考資料再做相關調變，希望可以成功利用電漿化學氣相沉積系統(PECVD)合成筆直直立矽奈米柱。

3-3 實驗流程

實驗前置作業：首先選擇氧化矽基板作為實驗基板，基板濺鍍金屬觸媒前，先以浸泡丙酮溶液，並置入超音波振盪器內，震洗約10分鐘；再將基板取出後浸泡於甲醇，再置於超音波振盪器內清洗10分鐘；最後取出浸泡去離子水(DI)，同樣以超音波振盪器清洗10分鐘；由去離子水取出基板後以氮氣吹乾表面。之後再使用濺鍍機於基板上濺鍍約10奈米的金當作VLS的金屬觸媒，將鍍有金觸媒的基板放置於電漿化學氣相沉積系統內之加熱器(下電極)上，先以機械幫浦將腔體內壓力由大氣壓抽至 1×10^{-3} torr，再啟動渦輪分子幫浦將腔體內壓力由

1×10^{-3} torr 抽至 1×10^{-6} torr。

腔體壓力達製程壓力，加熱器開始升溫。設定升溫時間以平均每分鐘上升15度，約花50分鐘。升溫期間射頻功率供應器開啟電源暖機，以確認射頻功率供應器穩定。當加熱器溫度達製程溫度，等待15分鐘後溫度穩定無誤，便開始通入氣體。氣體通入以氫氣先行通入10sccm，待壓力讀值改變開始緩慢以每次20sccm通入至200sccm；氫氣通入比照氫氣方式；當氫氣與氫氣完全通入，且壓力穩定便通入矽甲烷50sccm，開始計時。

因為擔心電漿轟擊效應過大，在矽奈米柱開始成長時，便將金觸媒轟擊斷落，造成金觸媒來不及反應，致使矽奈米柱無法順利成長；因此於製程氣體通入完成，製程時間計時開始5分鐘後，始得外加射頻功率激發電漿。

3-4 設計調變製程條件

實驗初期設定之參數，於實驗過程中發現，真空計讀值與石英爐管內壓力落差甚大，當我們設定製程壓力在30torr時，石英爐管內壓力遠超過真空計讀值，因爐管內壓力過大，造成矽甲烷的劇烈反應，而使壓力報不斷增大，為此將壓力調降，如表3-2。

過程中真空抽氣系統的渦輪分子幫浦故障，由原先1100liter/sec抽氣量更換為較小抽氣量300liter/sec的渦輪分子幫浦。為了確認製程環

境的改變，與原先製程條件是否有相對應影響，比較表3-3製程條件。實驗中發現邊界效應，為了可以定位邊界效應觀察的依據，將其位置區塊做了一個定義，如圖3-5。依據原先規劃原則不斷的調變製程參數，並觀察邊界效應的影響。

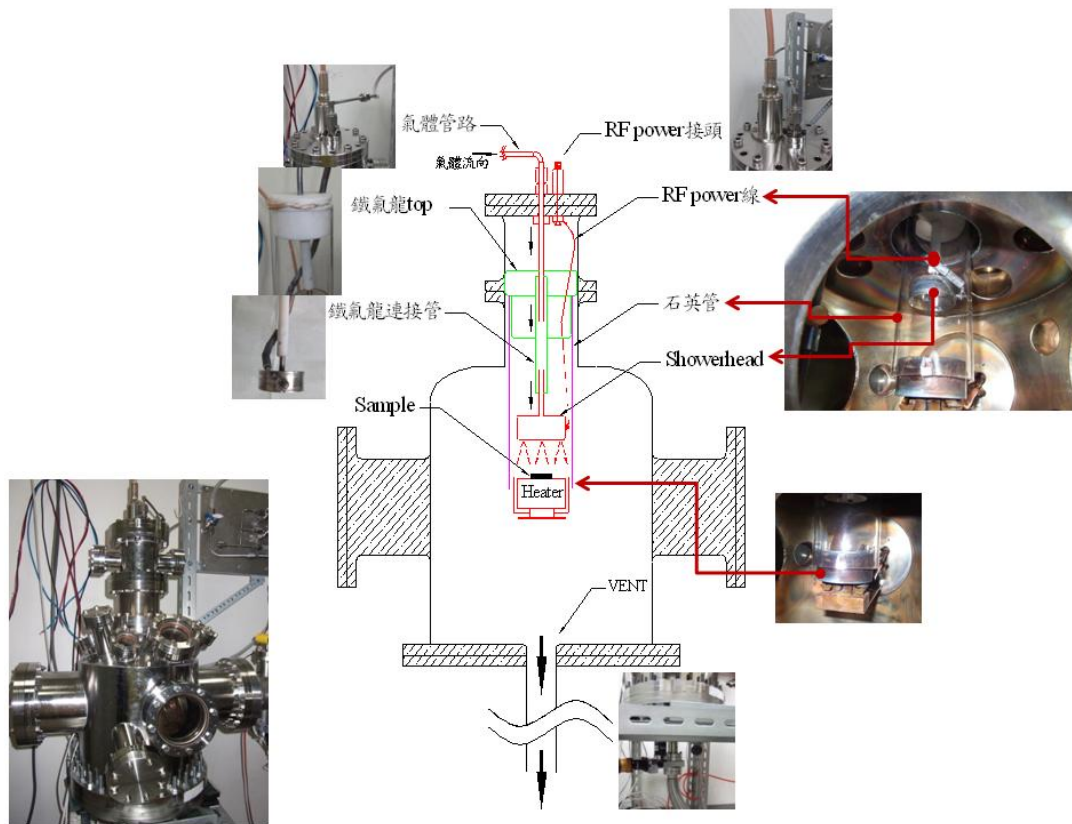


圖3-1 本實驗室改良之電漿輔助化學氣相沉積系統

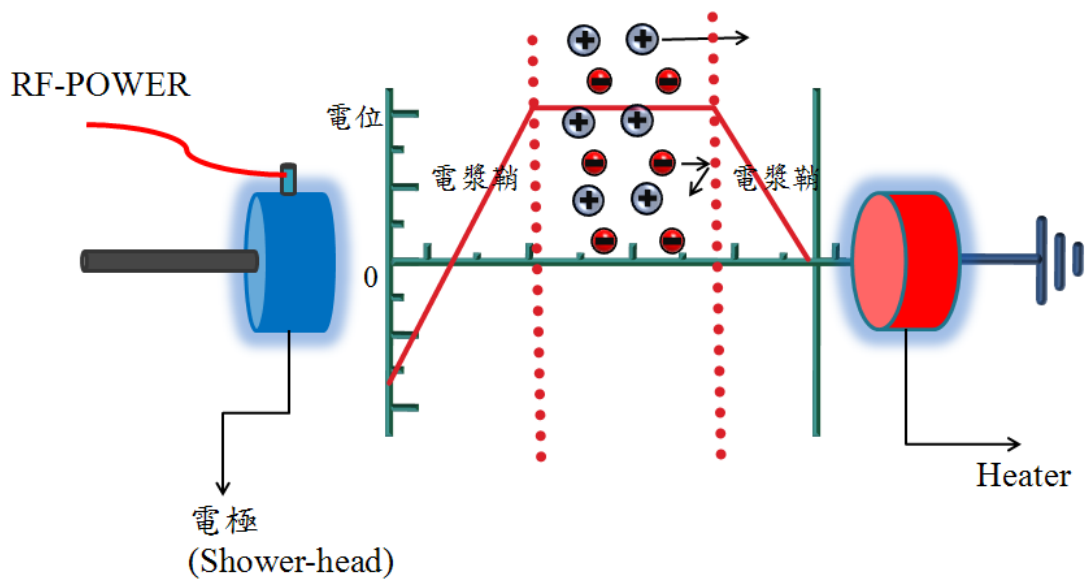


圖3-2 電漿系統形成電場示意圖

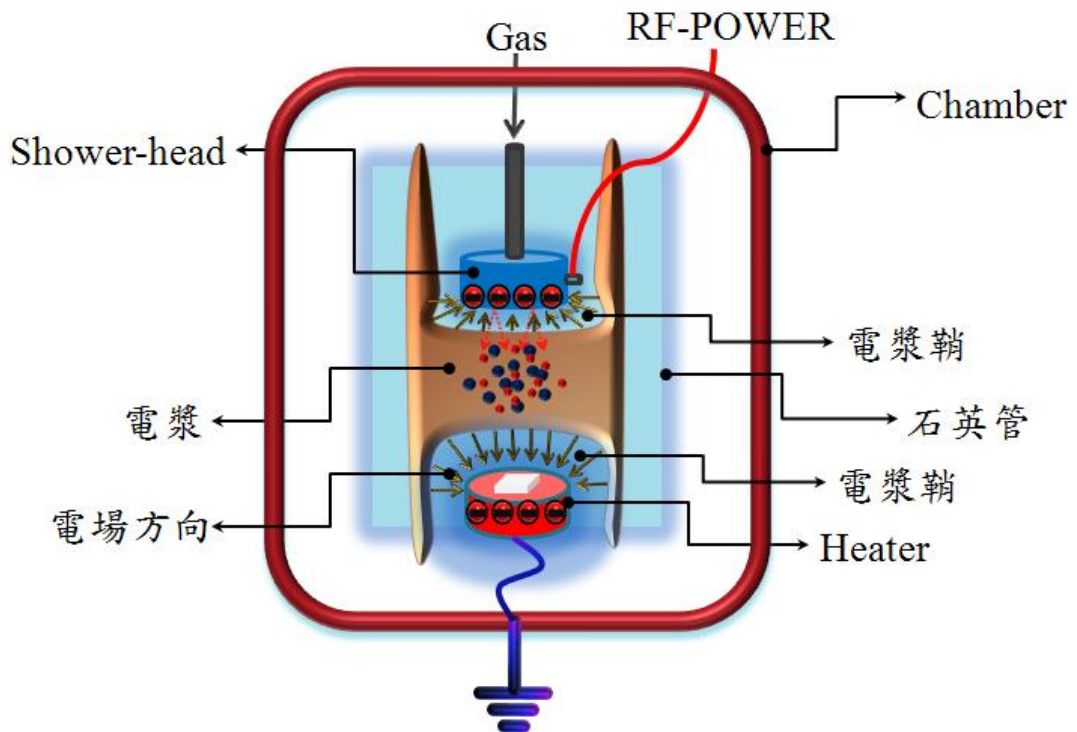


圖3-3 電漿鞘系統示意圖

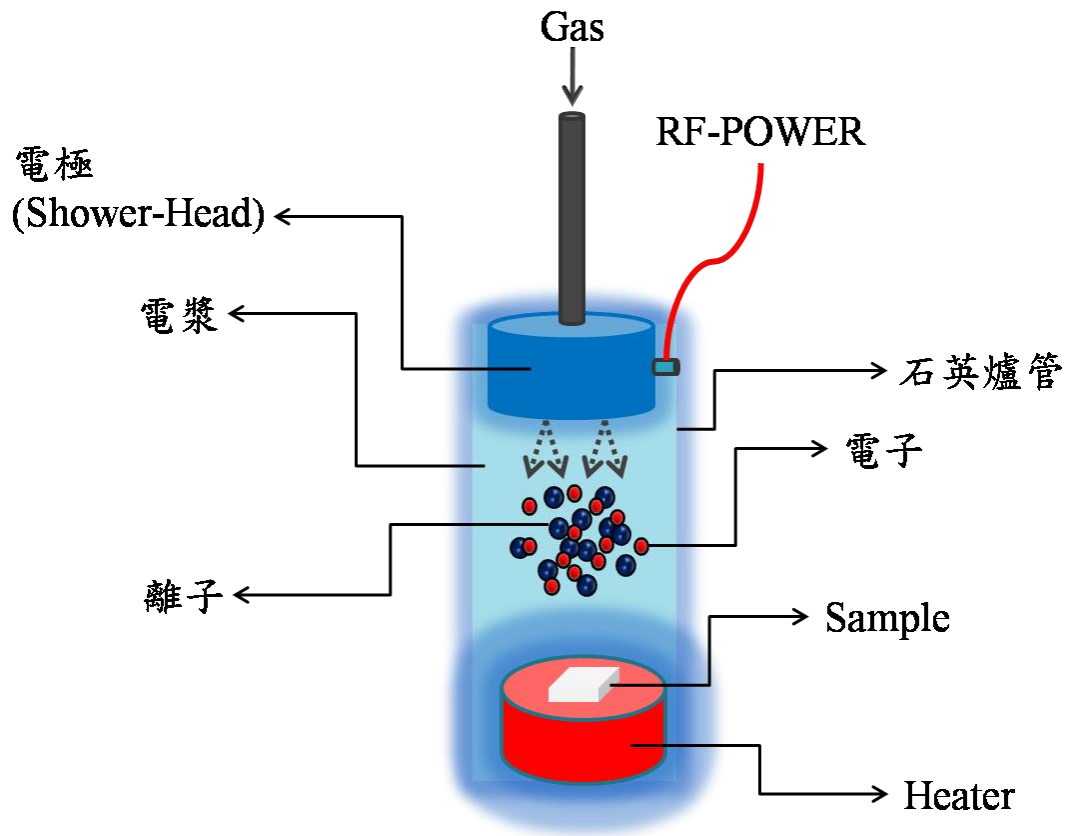


圖3-4 石英爐管安裝示意圖

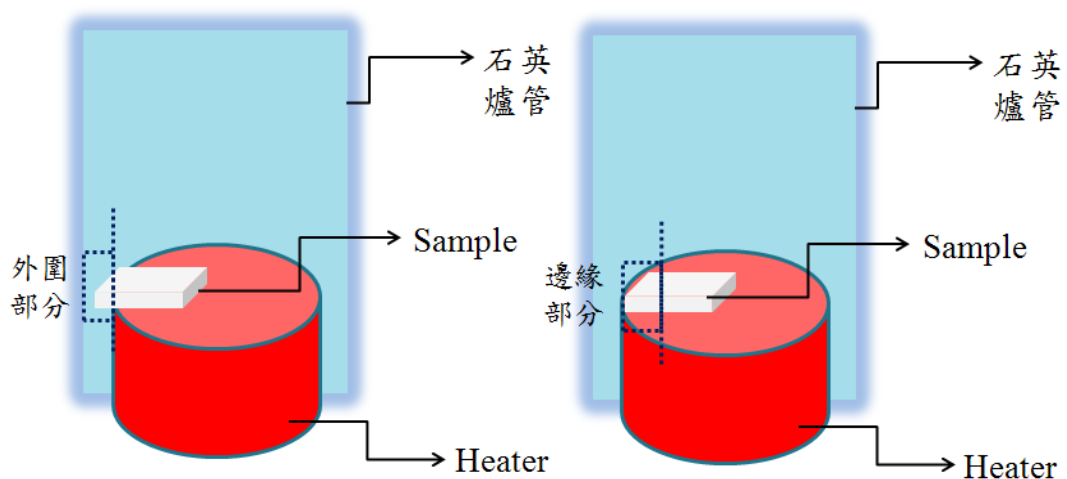


圖3-5 邊界效應區塊定義示意圖

固定參數					
氫氣	氫氣	矽甲烷	製程溫度	製程時間	製程壓力
200sccm	200sccm	50sccm	600°C	30分鐘	30torr
射頻功率			電極距離		
40、60、80瓦			4、6、8公分		

表3-1 實驗起始製程條件參數A

固定參數					
氫氣	氫氣	矽甲烷	製程溫度	製程時間	製程壓力
200sccm	200sccm	50sccm	600°C	30分鐘	1torr
調變參數					
射頻功率			電極距離		
40、60、80瓦			4、6、8公分		

表3-2 實驗起始製程條件參數B

固定參數					
氫氣	氫氣	矽甲烷	製程溫度	製程時間	製程壓力
200sccm	200sccm	50sccm	600°C	30分鐘	1torr
射頻功率			電極距離		
60瓦			4公分		

表3-3 實驗環境改變測試參數

第四章 結果與討論

4-1 射頻功率對矽奈米柱合成之影響

首先以射頻功率為變因開始一系列比較，如表4-1。當射頻功率40瓦時，如圖4-1，矽奈米柱頂端金觸媒大多還存在；但當射頻功率提高60瓦時，如圖4-2，矽奈米柱頂端的金觸媒卻幾乎消失，可能因為離子轟擊效果過大造成。更進一步將射頻功率提高至80瓦時，如圖4-3，觀察是否更大的反效果，明顯發現許多矽奈米柱都彎曲或是在成長初期便彎曲成團，類似薄膜沒有成長。此外實驗結果還發現，射頻功率60瓦條件下，矽奈米柱成長的直立性與均勻度比射頻功率40瓦及80瓦的條件佳。而40瓦的條件又比80瓦的條件來的好；射頻功率40瓦的條件下，電漿效果稍嫌不足，導致矽奈米柱的成長不理想；而射頻功率80瓦的條件下，顯現出的狀況卻是電漿效果過大，矽奈米柱成長非常不均勻，而且只有少部分單根的矽奈米柱有呈現出直立性，大面積呈現的都是彎曲矽奈米柱或是類似薄膜的形貌。

由實驗結果發現，射頻功率60瓦的製程條件下，雖然矽奈米柱頂端的金觸媒幾乎被去除，但是在這個條件下，矽奈米柱成長的直立性與均勻度最佳，如圖4-4。

4-2 電極距離對矽奈米柱合成之影響

電極的距離與電漿的效果也有相對關係，相同射頻功率下，電極

的距離越近，電漿效果會越明顯，反之，電極的距離越遠，電漿效果越差。由4-1實驗結果，60瓦的射頻功率相對應的矽奈米柱成長效果有一定理想在，但發現在此4公分的電極距離下，電漿效果依然太強，因此改變電極距離參數，如表4-2，做一系列比較。

當電極與基板間距離提高至6公分時，如圖4-6，基板上矽奈米柱的筆直度與均勻性，與電極距離4公分的製程條件想比較，如圖4-5，兩者之間最大差異為，電極6公分製程條件，成長的矽奈米柱密度比電極4公分高，尖端也比較細；而且大部分的金觸媒依然存在於矽奈米柱頂的頂端。然而電極距離在8公分時，如圖4-7，發現形貌與射頻功率40瓦時相同，因為電極距離太遠，造成電漿效果不足，導致電場效果不佳，致使矽奈米柱無法筆直成長，如圖4-8。

4-3 製程環境改變對矽奈米柱合成之影響

實驗過程中，渦輪分子幫浦因停電損壞，發現系統的抽氣效果改變，製程環境隨之改變，此時製程環境也成變因之一。因此必須比對原先使用之1100lite/sec渦輪分子幫浦，與目前替代使用之300lite/sec渦輪分子幫浦的製程狀況。由圖4-9觀察出，新的製程環境成長矽奈米柱的效果不及原先的製程環境；而且實驗過程中，目前使用之300lite/sec渦輪分子幫浦，無法完全負荷先前設定的製程條件，如表3-3，實驗中途，因負載過大而跳脫，至實驗結束共跳脫兩次，造成

實驗中壓力改變。至於抽氣效果影響了製程環境中的哪個部分，必須配合新的製程環境測試，再尋找新的製程條件。

4-4 邊界效應對合成矽奈米柱之影響

於新製程環境中，嘗試尋找出適用的製程條件，如表4-3，卻意外發現，相同一片基板靠近下電極(Heater)邊緣的地方，成長出來的矽奈米柱有一傾斜角度，如圖4-10，此角度隨著基板往下電極中央靠近，其角度越小，既越垂直於基板，此狀況我們認為是邊界效應所造成；為了確認此邊界效應並非單一出現的偶發個案，因此選擇一製程條件重複製程並觀察結果。由圖4-11、4-12發現邊界效應並非是單一偶發的個案，更發現受邊界效應的影響，下電極邊緣成長的矽奈米柱會有傾斜較度，往下電極中央成長的矽奈米柱雖然會漸漸筆直，但是中央的電漿效果不佳，成長的形貌不在是矽奈米柱，而漸漸變成薄膜。再次確認電漿密度對於矽奈米柱的成長影響很大，而電漿密度的難掌控，也是尋找製程參數的困難所在。

4-5 下電極接正偏壓與負偏壓對合成矽奈米柱之影響

嘗試在下電極分別提供一正偏壓或負偏壓，如表4-4，觀察對於矽奈米柱的影響。理論上，提供下電極一正偏壓，正電會吸引負電，電漿中的負電荷理因受到吸引往下電極方向，而累積於下電極上的基板上，加強了電場效果。當然，電漿中的負電荷過多累積，不利於矽

奈米柱的成長，因此提供負偏壓於下電極，也許會有恰當好的反應結果。

實驗結果上，如圖4-13，不論是提供正偏壓或是負偏壓，基板上的形貌都是薄膜。但是正、負偏壓的結果還是有差異；正偏壓的情況下，邊際效應明顯之下電極邊緣的區塊，比較於下電極中央的位置，基板上薄膜的厚度，邊緣比中央厚度多了1/3；當提供負偏壓時，不論樣品的位置，位於下電極邊緣或是中央，整片樣品很均勻的一層薄膜，沒有多大差異性；研判是因為負偏壓排斥了負電荷，吸引了正電荷，因此破壞了電場，促使邊界效應消失。

4-6 下電極Floating與Ground對矽奈米柱合成之影響

製程中，下電極一直為Ground的狀態，所以電荷會被引導離開，因此憶測Floating可以使下電極累積更多負電荷，增強電場效果。依據實驗結果證實Floating效果非常不理想，如表4-5。但是不論下電極是Floating或是Ground，邊界效應可以由下電極中央與外圍的樣品比較出來，如圖4-14。在Floating的條件下可以發現，疑似電場效果過大造成的樣品形貌。由此可確定，過多的負電荷累積，對於矽奈米柱的成長只會造成反效果。

4-7 射頻電源供應器對合成矽奈米柱之影響

利用高功率之射頻電源供應器(40.56MHz/600W)如表4-6，提供

較高能量，觀察對矽奈米柱的成長是否有幫助。如圖4-15結果發現，相較於較低功率之射頻電源供應器(13.68MHz/300W)，雖然樣品靠近下電極中央的區域，都是薄膜的形貌，不同於低功率之射頻電源供應器(13.68MHz/300W)有矽奈米柱的成長，但是落於下電極外圍的區域，可以清楚觀察到在高功率之射頻電源供應器條件下，受到邊界效應影響，外圍區域矽奈米柱成長得很均勻，矽奈米柱表面包覆一層厚厚的薄膜，而且越頂端越厚；研判依據此製程條件，高功率的射頻電源供應器，對矽奈米的成長並無良好效果。但並不可證明高功率之射頻電源供應器不利於矽奈米柱的合成。必須延續更多的實驗數據才可評斷。

4-8 氫氣對合成矽奈米柱之影響

氫氣的解離效果好，氫離子的物理性轟擊也比較強。透過改變氫氣的製程流量，如表4-7，觀察是否可以提高矽奈米柱成長直立性的均勻度。由圖4-16觀察得知單獨改變氫氣氣體流量，對矽奈米柱的成長並未出現較好的影響；但是與之前未降低氫氣氣體流量的製程條件想比較，如圖4-17，發現氫氣氣體量減少，成長的矽奈米柱彎曲的延中度相對較低。因此猜測單獨改變氫氣氣體量，使腔體內的整體分壓比例改變，造成成長的矽奈米柱比未改變氫氣氣體量前更不理想。

因為氫氣的解離效果好，氫離子的物理性轟擊也比較強，致使成

長的矽奈米柱，容易受到氫離子的轟擊，造成金觸媒被轟除無法成長，或者是被轟擊嚴重彎曲。

4-9 製程氣體流量比例調降對合成矽奈米柱之影響

腔體內各製程氣體分壓比例與矽奈米柱之成長有一定關係；因此等比例調降各製程氣體流量，如表4-8，觀察結果是否會接近，與改變實驗環境前之較佳的矽奈米柱製程條件；結果依然不如預期，如圖4-18。但發現，下電極外圍部分，因邊界效應造成電漿效果集中，此區域樣品順利成長出較均勻直立的矽奈米柱。研判原因在於各製成氣體流量等比例減少，所以通入石英爐管內的氣體流量減低，但是抽氣效果並沒有改變，因此石英爐管內的製程壓力理論上也會隨之下降。

4-10 特定參數定值時壓力對合成矽奈米柱之影響

由4-9實驗中，大至上可以推測出，壓力對於電漿密度有很大的影響，於是設計一個實驗，如表4-9，依等比例調降後的製程氣體流量為固定參數，對壓力做一系列的改變實驗，透過實驗結果發現，當壓力足一提高，樣品形貌由薄膜漸漸呈現出矽奈米柱的形貌，如圖4-19。原先壓力1torr時樣品形貌皆是薄膜，如圖4-20，當壓力提高至3torr時，如圖4-21，已經零星有矽奈米柱成長出來，當壓力增加至4torr時，如圖4-22矽奈米柱成長出的數量變多，直立性也變好。

4-11 固定較佳製程參數時壓力對合成矽奈米柱之影響

由上述各項實驗發現壓力對於矽奈米柱的成長有很大的對應關係。透過邊界效應輔助觀察的結果，壓力影響電漿密度，也就是電場分布，然而這些效果正是我們所要應用的，矽奈米柱的成長直立性與均勻度證是仰賴這些效果。擷取各項實驗資訊，取較佳的製程條件，如表4-10，微調改變壓力觀查觀察結果。由圖4-23、圖4-24清楚觀察到，壓力1torr時，矽奈米柱的成長很雜亂，只有少數單跟筆直，顯現出電漿效果影響不明顯；而2torr時，如圖4-25、圖4-26，結果證明在3torr的情況下，如圖4-27，成功成長出筆直矽奈米柱，而且均勻性很好；另外也觀察到，當下電極中央位置樣品，成長出較佳的矽奈米柱時，受邊界效應影響的外圍部分，便因電漿效果過大皆成長為薄膜。由1torr、2torr、3torr實驗結果比較，於製程壓力3torr下，配合表4-10的製程參數，為成長直立性矽奈米柱較佳製程的條件，如圖4-28。

4-12 固定較佳製程參數時射頻功率對合成矽奈米柱之影響

依據所有實驗數據，目前已經找到較佳的製程氣體流量，以及製程壓力；延續實驗方向，繼續尋最佳的射頻功率，如表4-11。當射頻功率50瓦時，如圖4-29，成功成長出直立性高的矽奈米柱，但依然有電漿效果不足，造成彎垂沒有筆直的矽奈米柱；當射頻功率60瓦時，如圖4-30，與射頻功率70瓦時，如圖4-31，成長出的矽奈米柱，其筆直度與均勻性都有一定理想，也比射頻功率50瓦的條件好，而射頻功

率60瓦的條件，在矽奈米柱成長的均勻度上觀察起來，稍不如射頻功率70瓦的條件，如圖4-32。

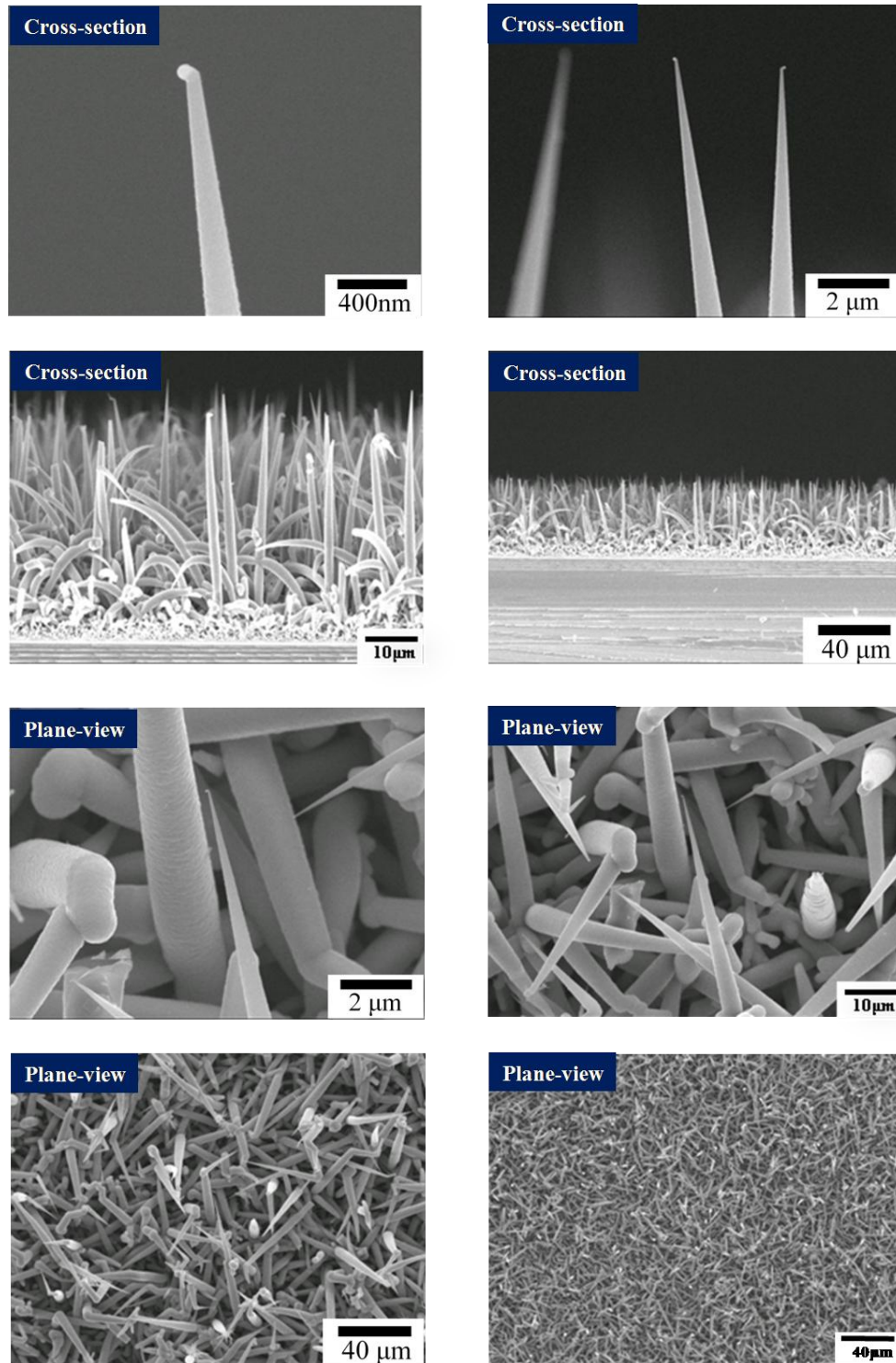


圖4-1 射頻功率40瓦之樣品SEM圖

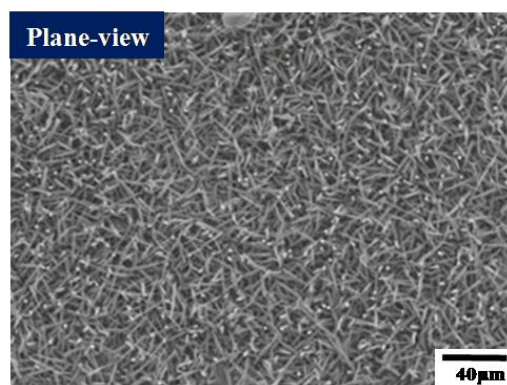
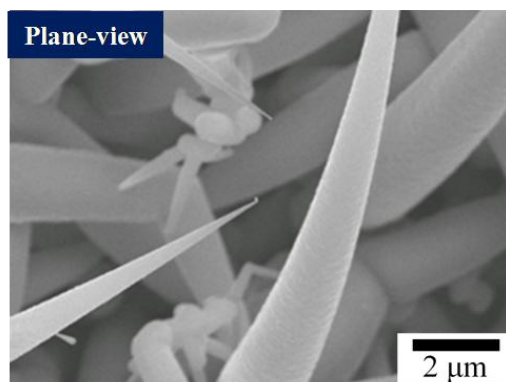
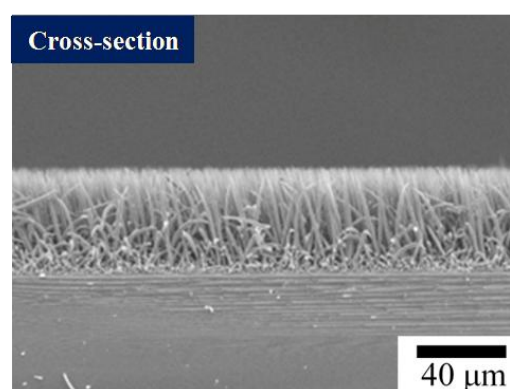
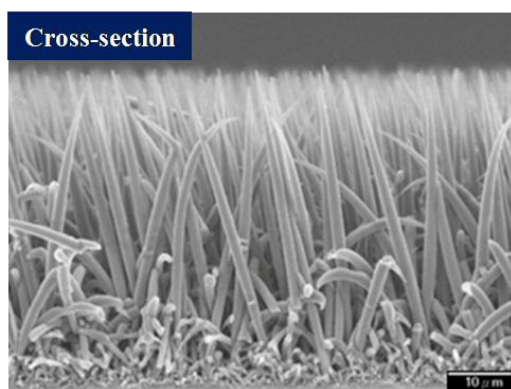
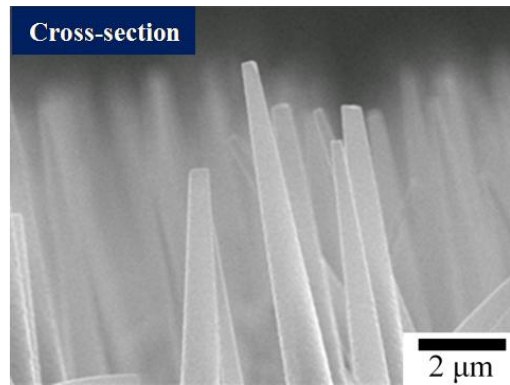
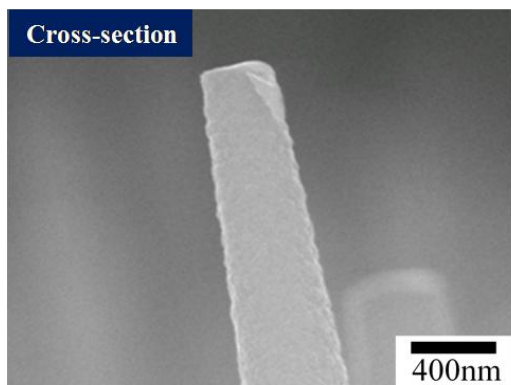


圖4-2 射頻功率60瓦之樣品SEM圖

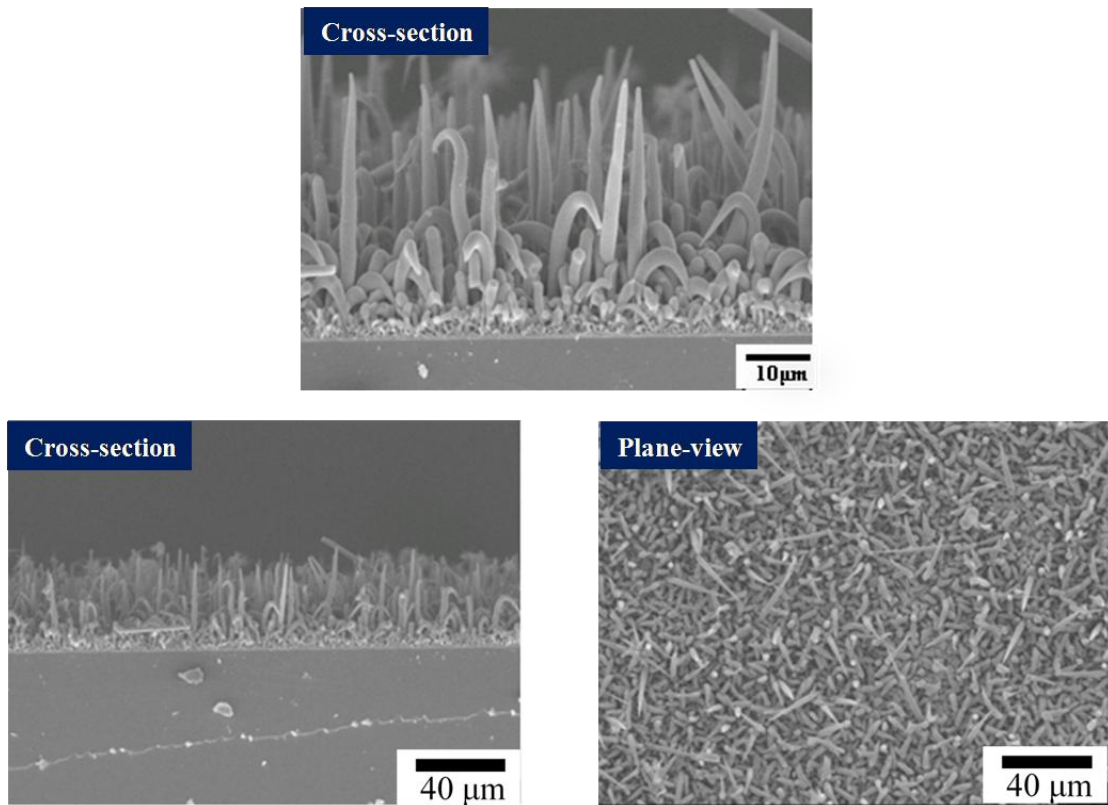


圖4-3 射頻功率80瓦之樣品SEM圖

Ar : 200sccm H₂ : 200sccm SiH₄ : 50sccm Pressure : 1Torr 電極 : 4cm
 Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide

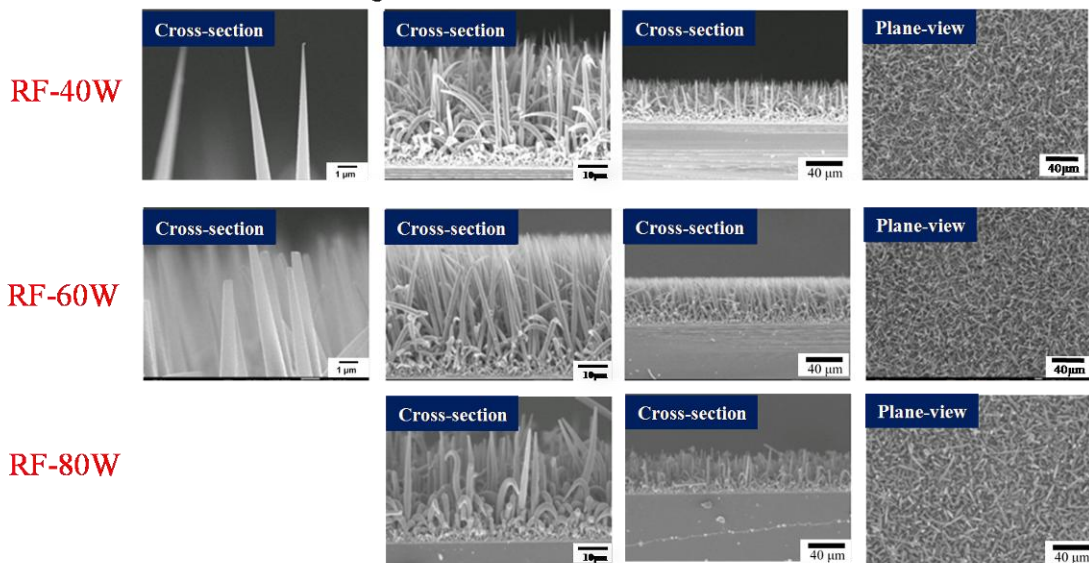


圖4-4 射頻功率40瓦、60瓦、80瓦樣品SEM比較圖

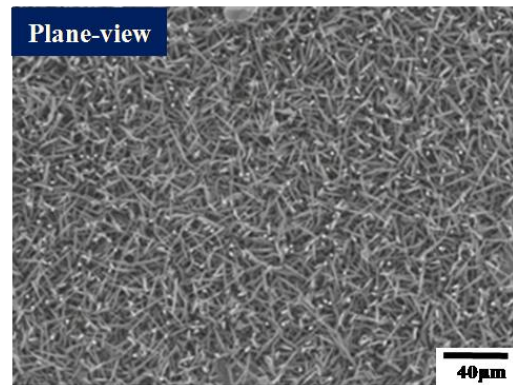
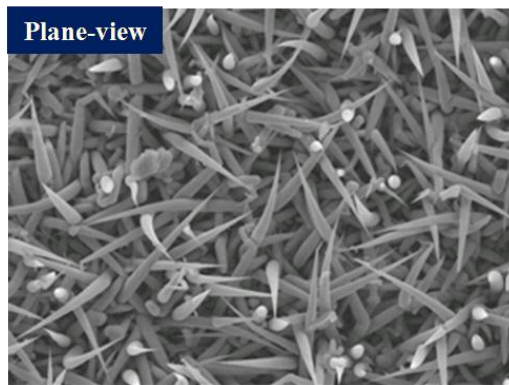
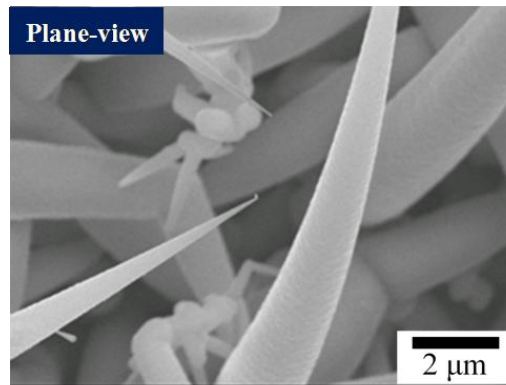
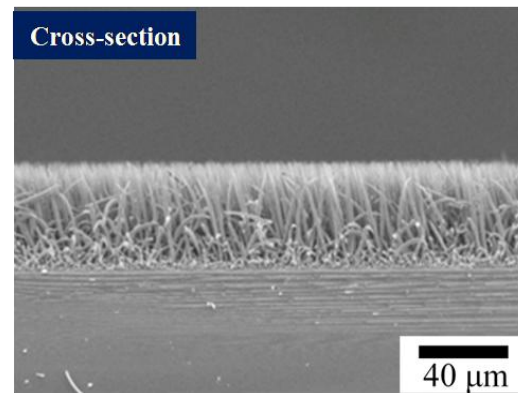
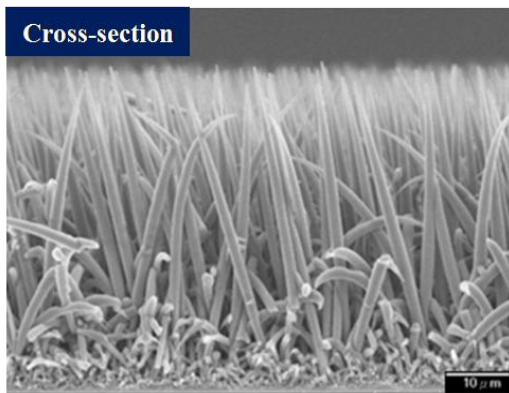
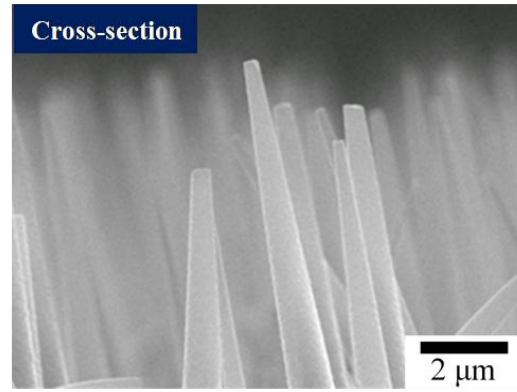
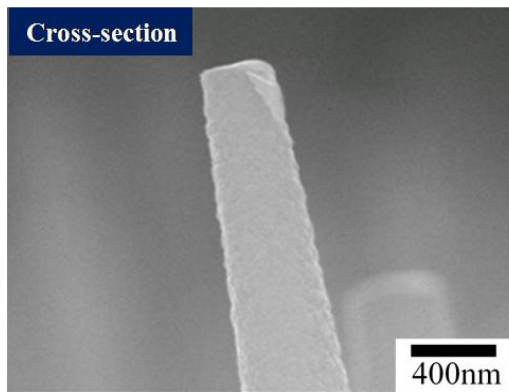


圖4-5 電極距離4公分之樣品SEM圖

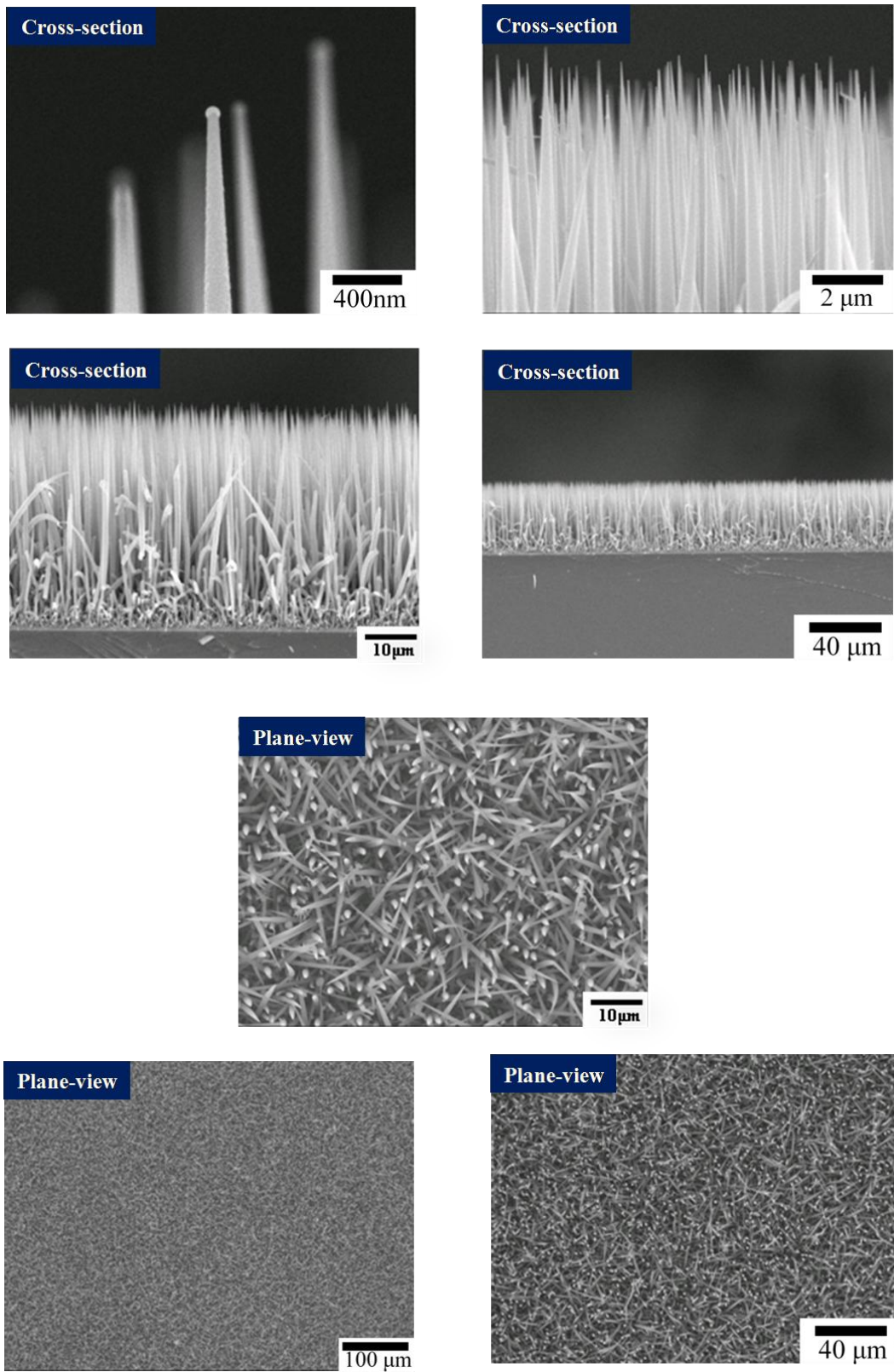


圖4-6 電極距離6公分之樣品SEM圖

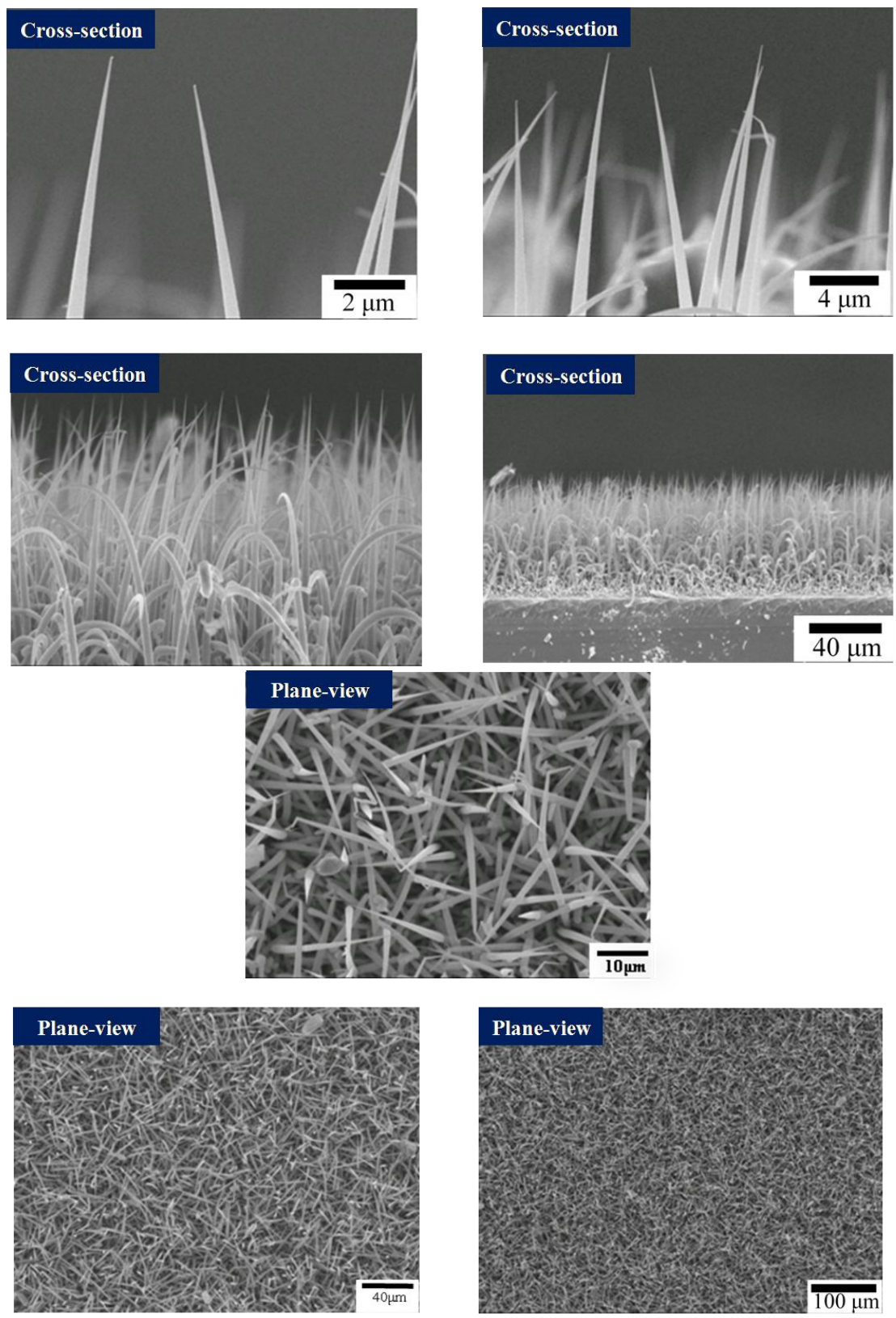


圖4-7 電極距離8公分之樣品SEM圖

Ar : 200sccm H₂ : 200sccm SiH₄ : 50sccm Pressure : 1Torr RF-60W
 Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide

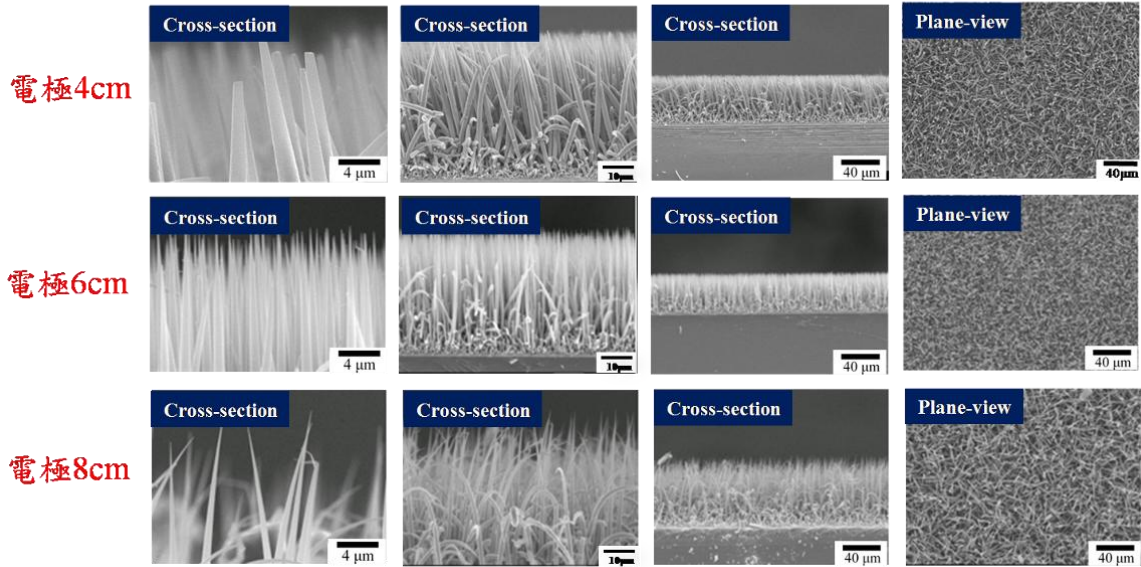
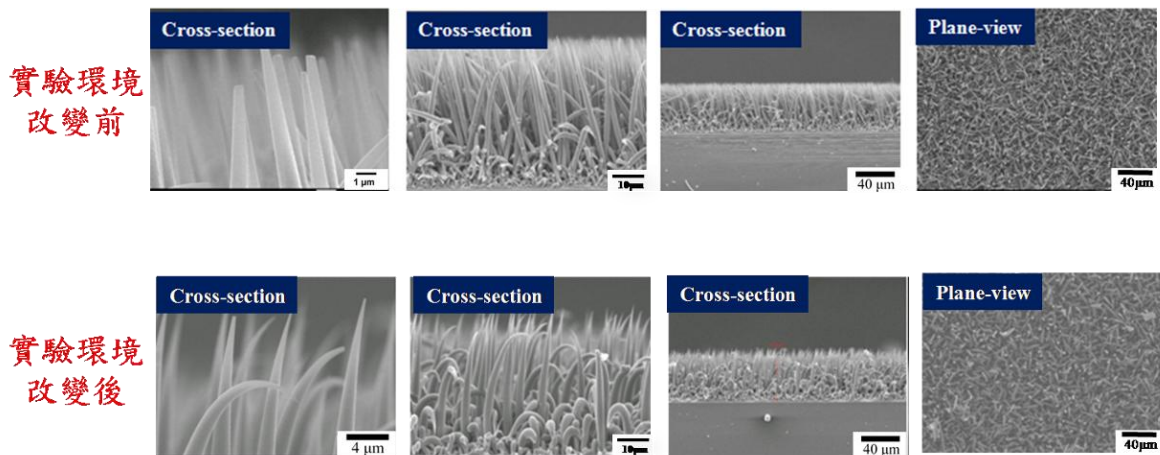


圖4-8 電極距離4公分、6公分、8公分之樣品SEM比較圖

Ar : 200sccm H₂ : 200sccm SiH₄ : 50sccm Pressure : 1Torr RF-60W
 電極 : 4cm Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide



Ar : 200sccm H₂ : 200sccm SiH₄ : 50sccm Pressure : 1Torr RF-60W
 電極 : 4cm Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide

圖4-9 實驗環境改變前、後之樣品SEM圖比較圖

Ar : 200sccm H₂ : 200sccm SiH₄ : 50sccm Pressure : 1Torr RF-60W
 電極 : 4cm Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide

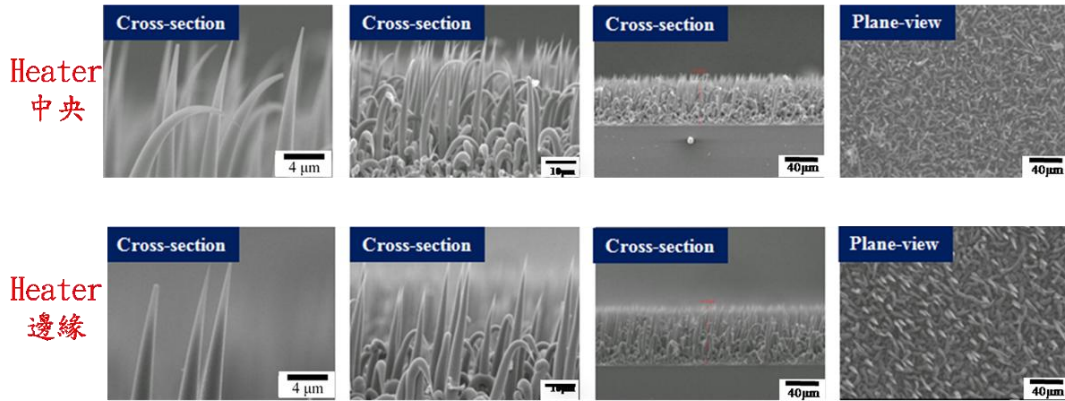


圖4-10 新製程環境之樣品SEM圖

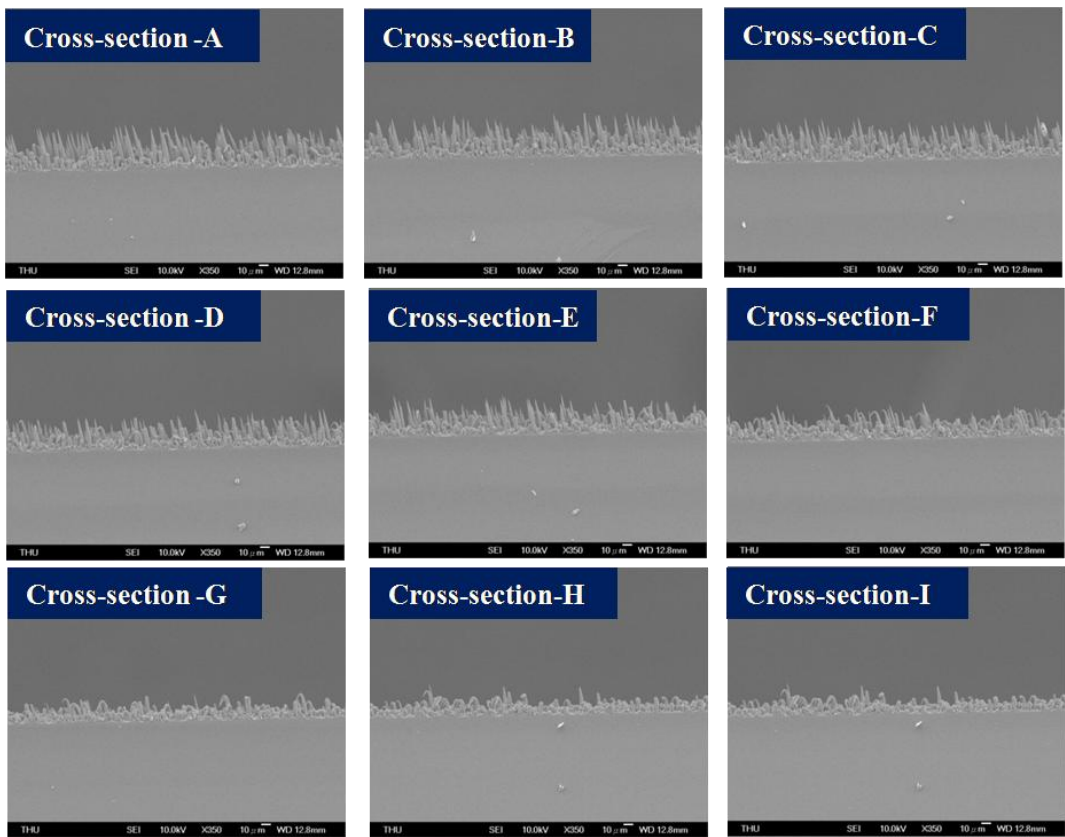


圖4-11 邊界效應之樣品SEM圖A

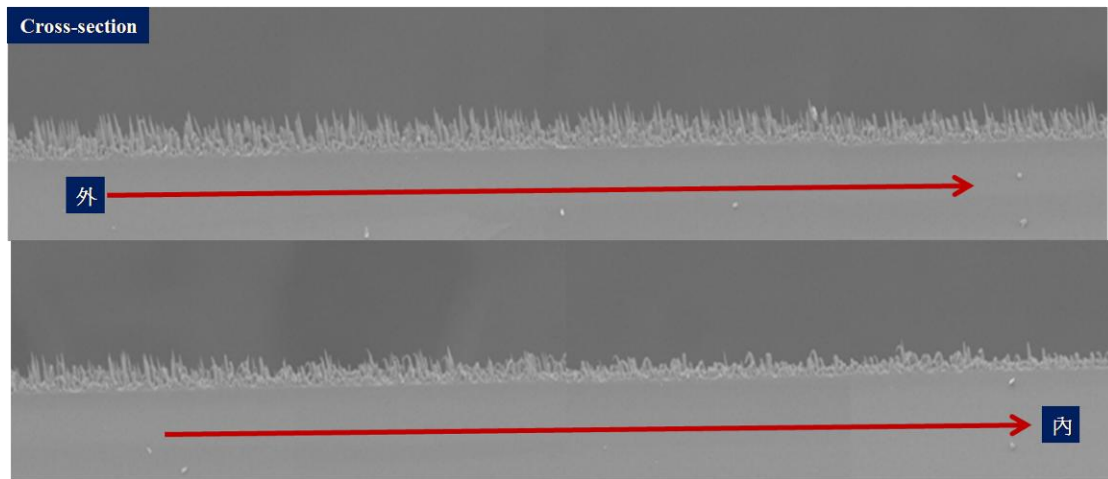


圖4-12 邊界效應之樣品SEM圖B

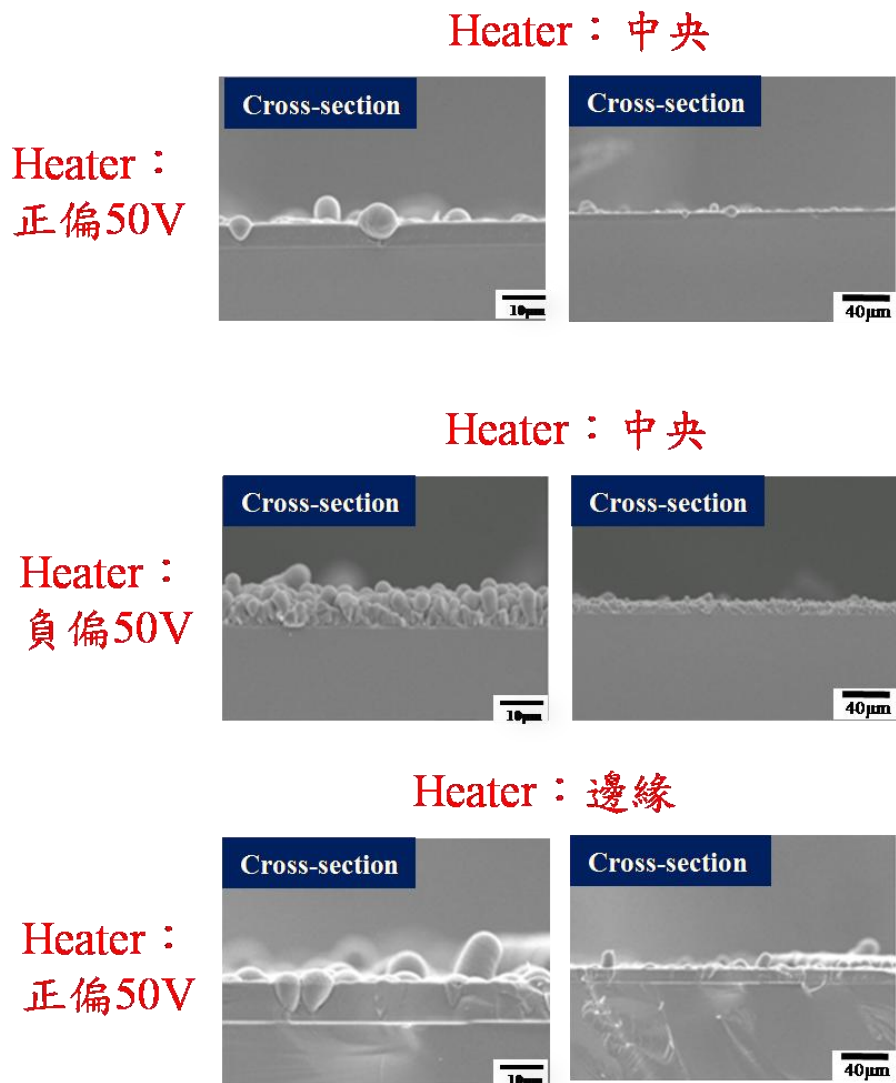
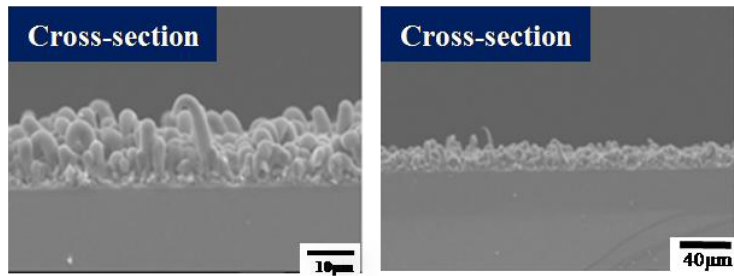


圖4-13 正、負偏壓改變之樣品SEM圖

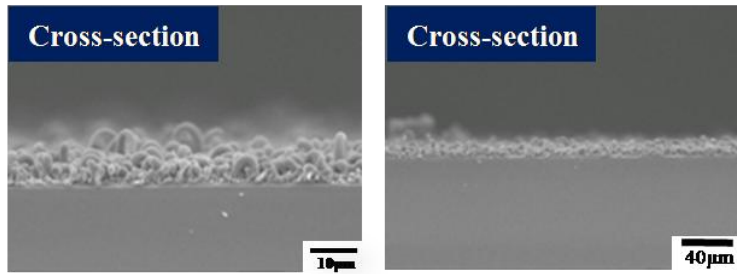
Heater : 中央

Heater :
Floating



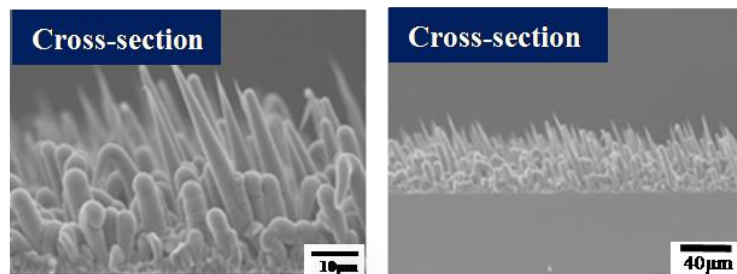
Heater : 中央

Heater :
Ground



Heater : 外圍

Heater :
Floating



Heater : 外圍

Heater :
Ground

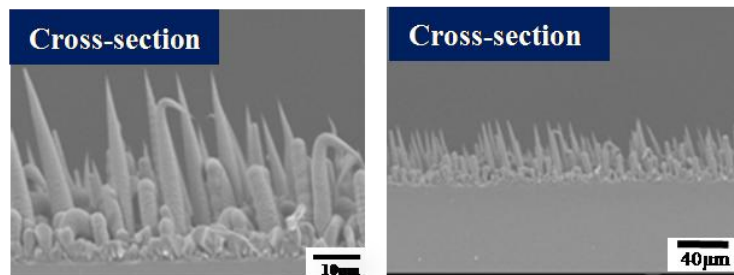
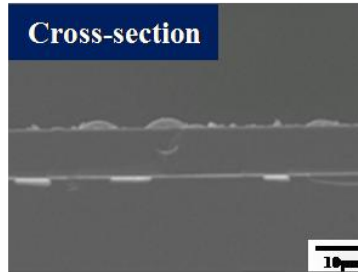


圖4-14 Floating與Ground之樣品SEM圖

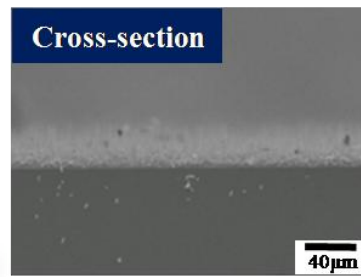
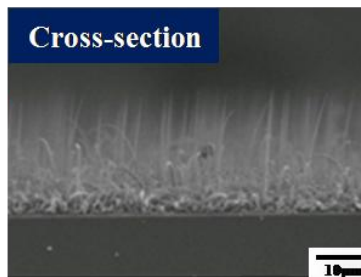
Heater : 中央

40.68MHz/
600W)



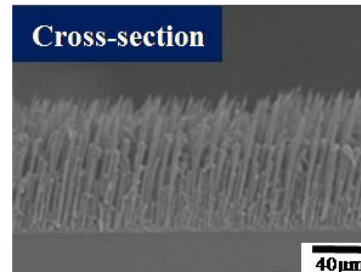
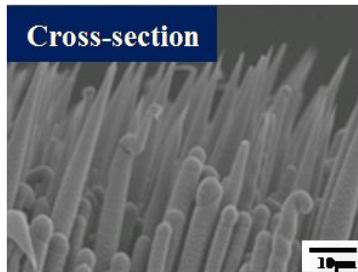
Heater : 中央

13.56MHz/
300W)



Heater : 外圍

40.68MHz/
600W)



Heater : 外圍

13.56MHz/
300W)

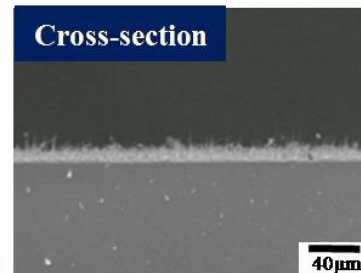
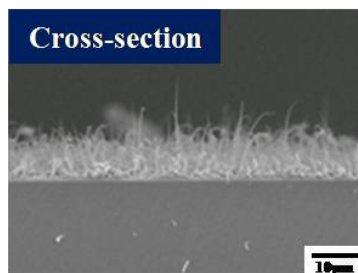


圖4-15 射頻電源供應器改變之樣品SEM圖

Ar:100sccm H2 : 200sccm SiH4 : 50sccm Pressure : 1Torr 電極 : 4cm
 RF-60W Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide

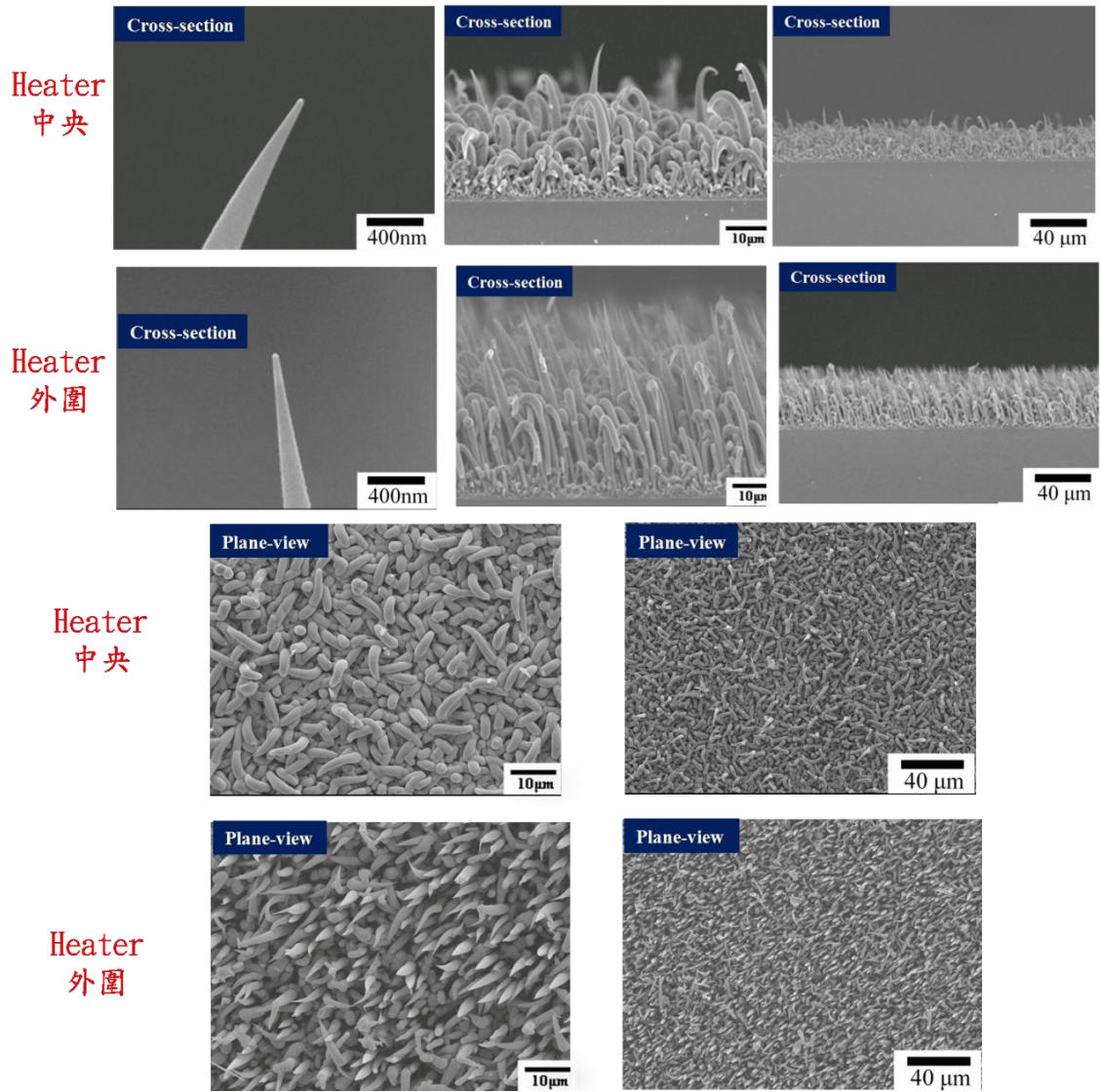


圖4-16 氫氣氣體流量100sccm之樣品SEM圖

Ar:200sccm H₂:200sccm SiH₄:50sccm Pressure:1Torr 電極:4cm
 RF-60W Heater:600°C Process time:30min Substrate:Si-oxide

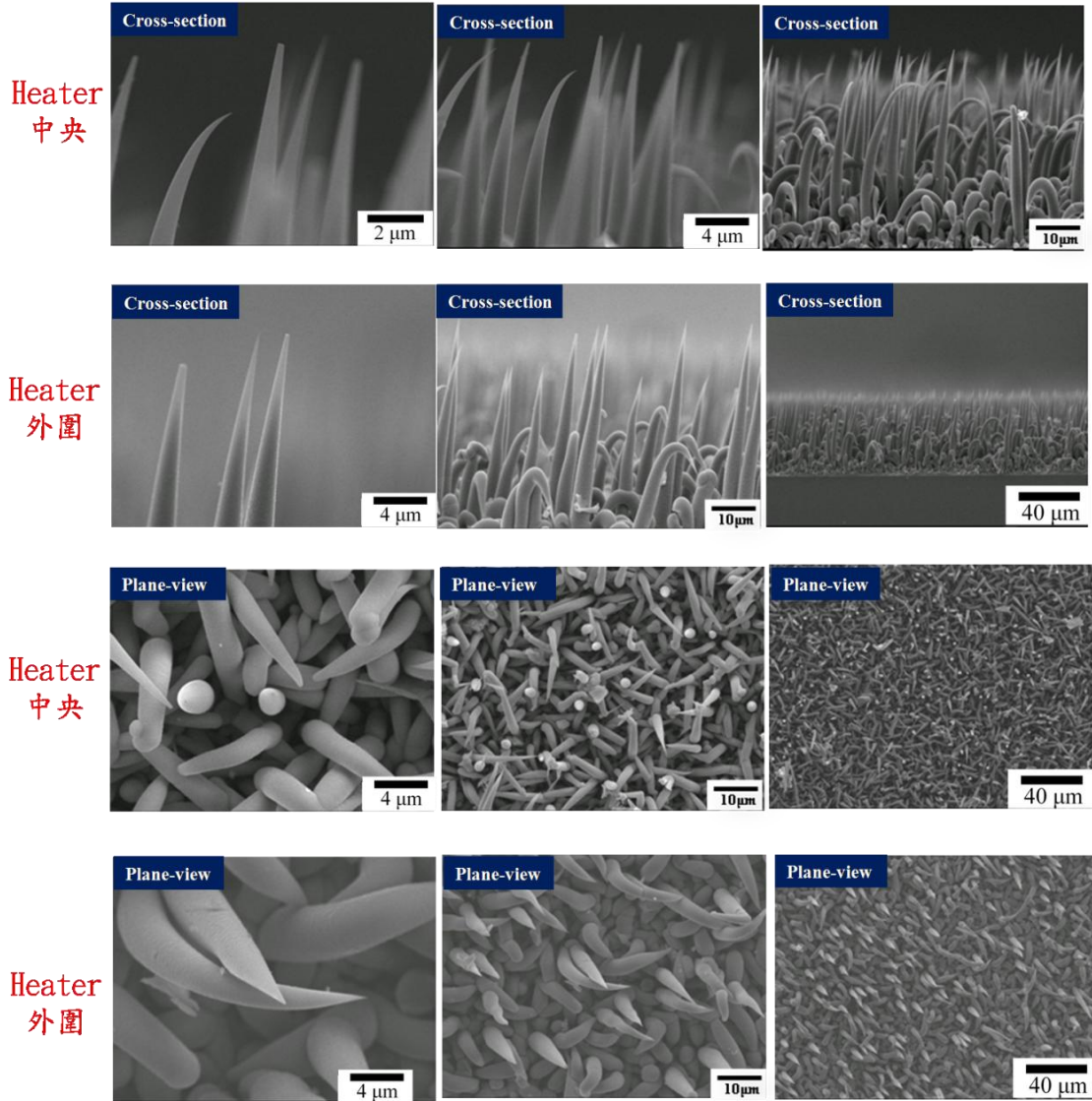


圖4-17 早期製程氣體流量設定之樣品SEM圖

Ar:100sccm H₂:100sccm SiH₄:25sccm Pressure:1Torr 電極:4cm
 RF-60W Heater:600°C Process time:30min Substrate:Si-oxide

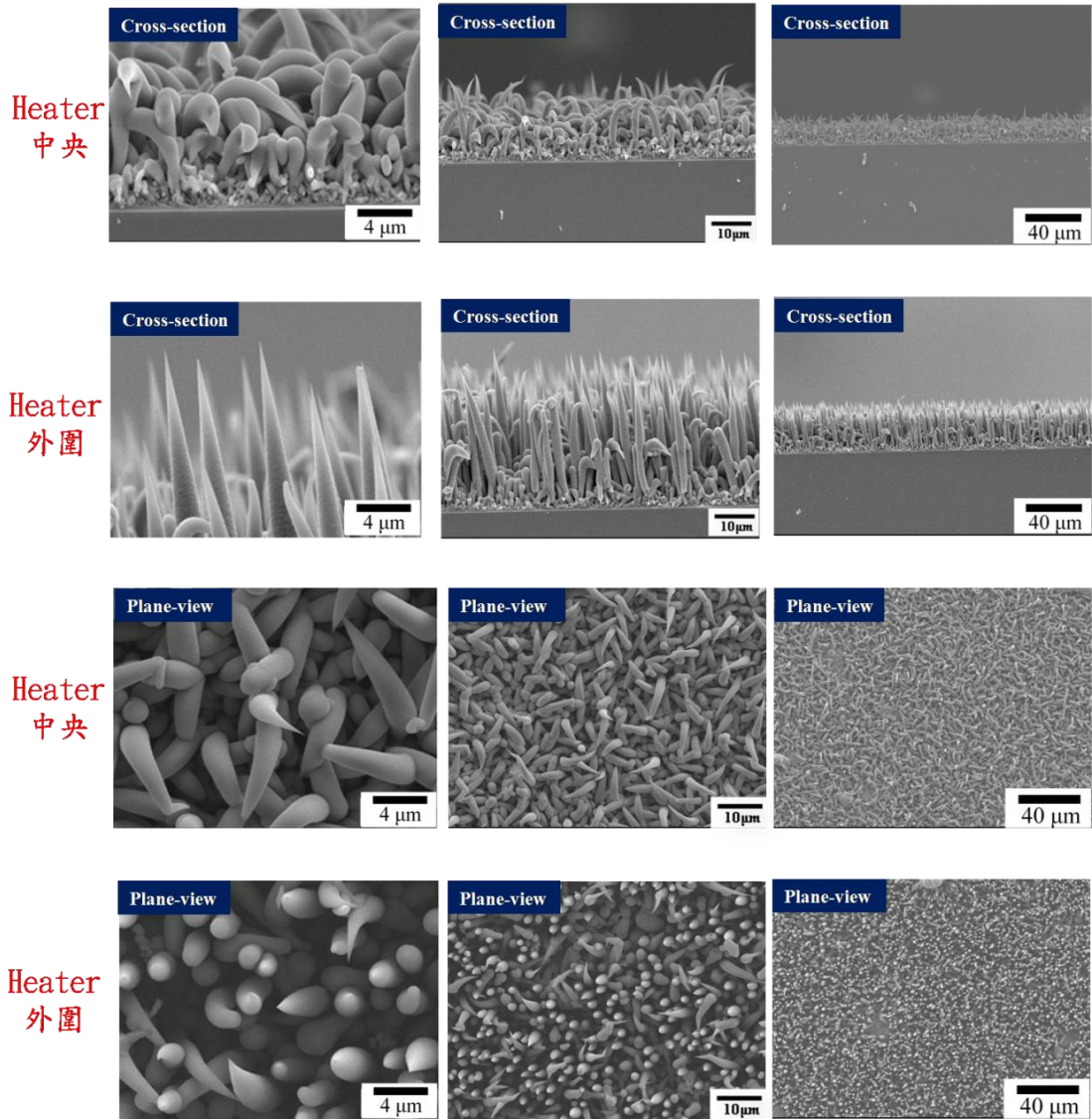


圖4-18 製程氣體流量等比例調降之樣品SEM圖

調變壓力1Torr 、 3Torr 、 4Torr

Ar100sccm H₂ : 100sccm SiH₄ : 25sccm 電極 : 5cm RF-60W
 Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide

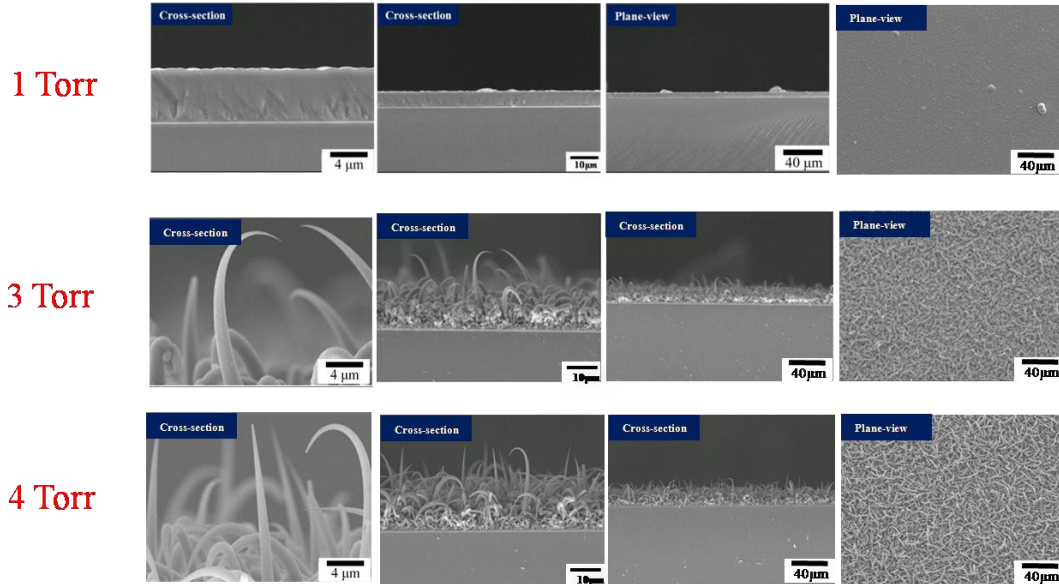


圖4-19 壓力1torr、3torr、4torr調變之樣品SEM比較圖

Ar100sccm H₂ : 100sccm SiH₄ : 25sccm Pressure : 1Torr 電極 : 5cm
 RF-60W Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide

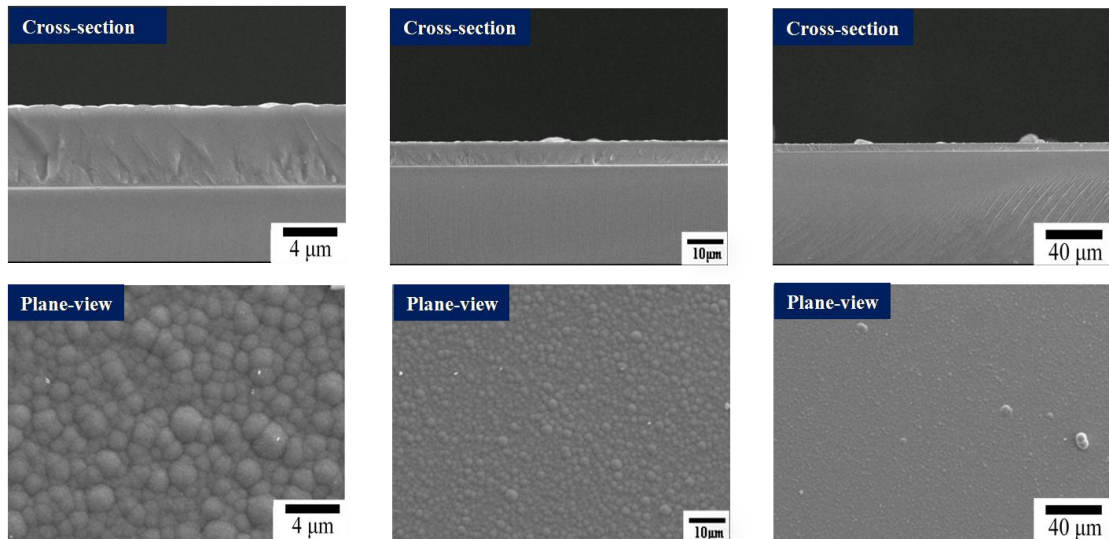


圖4-20 壓力1torr調變之樣品SEM圖

Ar100sccm H₂ : 100sccm SiH₄ : 25sccm Pressure : 3Torr 電極 : 5cm
RF-60W Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide

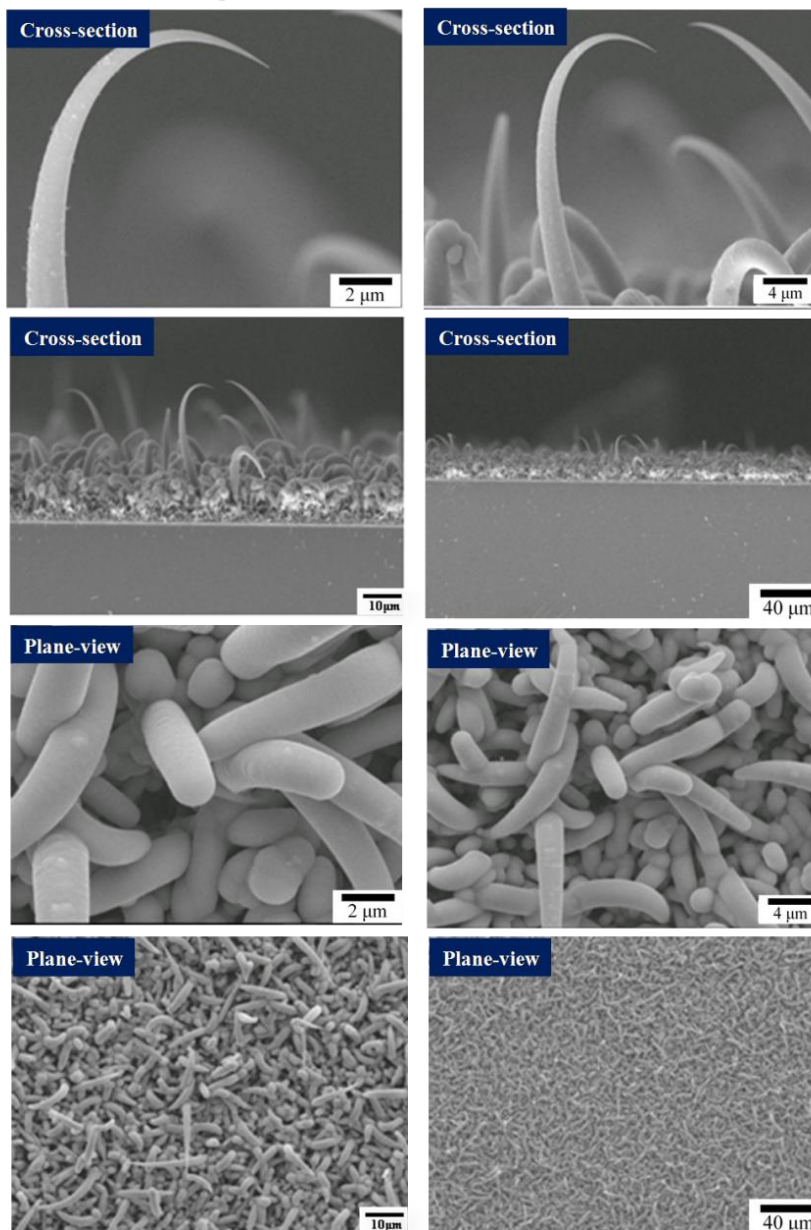


圖4-21 壓力3torr調變之樣品SEM圖

Ar100sccm H₂ : 100sccm SiH₄ : 25sccm Pressure : 4Torr 電極 : 5cm
RF-60W Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide

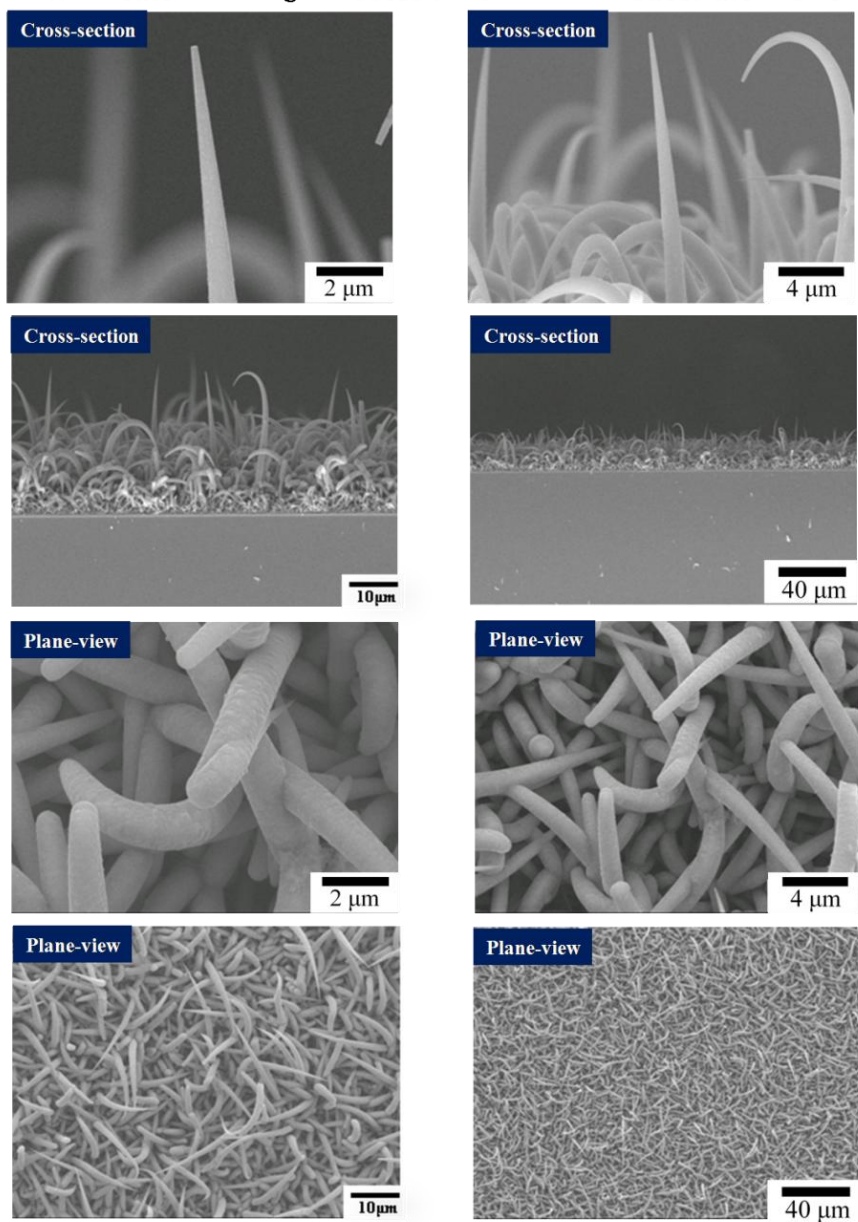
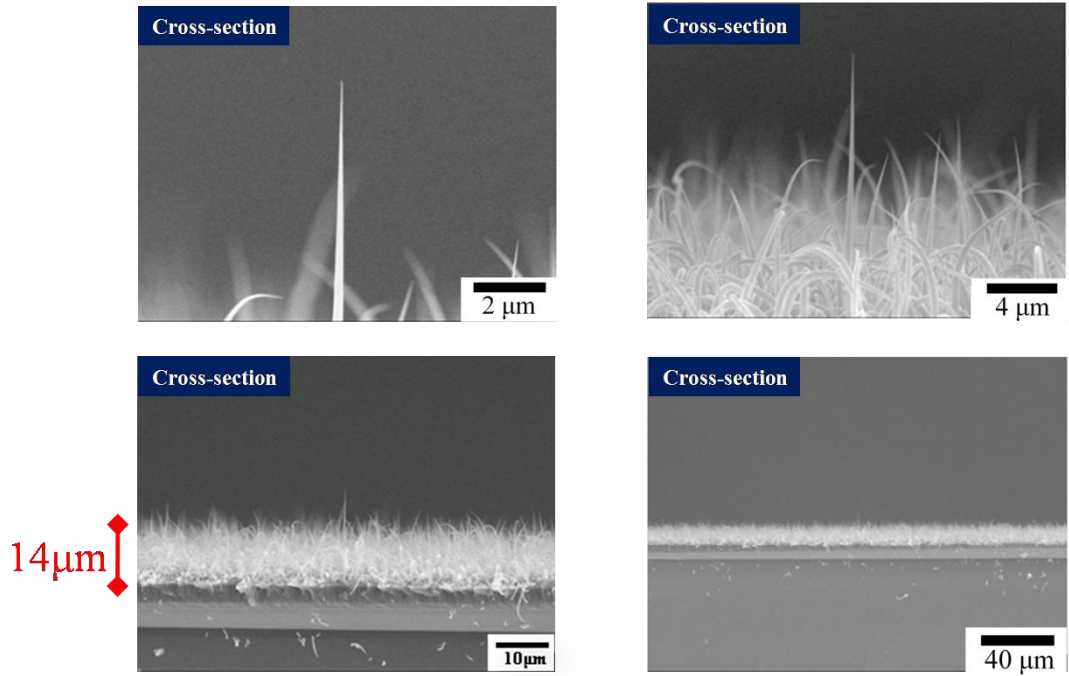


圖4-22 壓力4torr調變之樣品SEM圖

1Torr 中央



1Torr 外圍

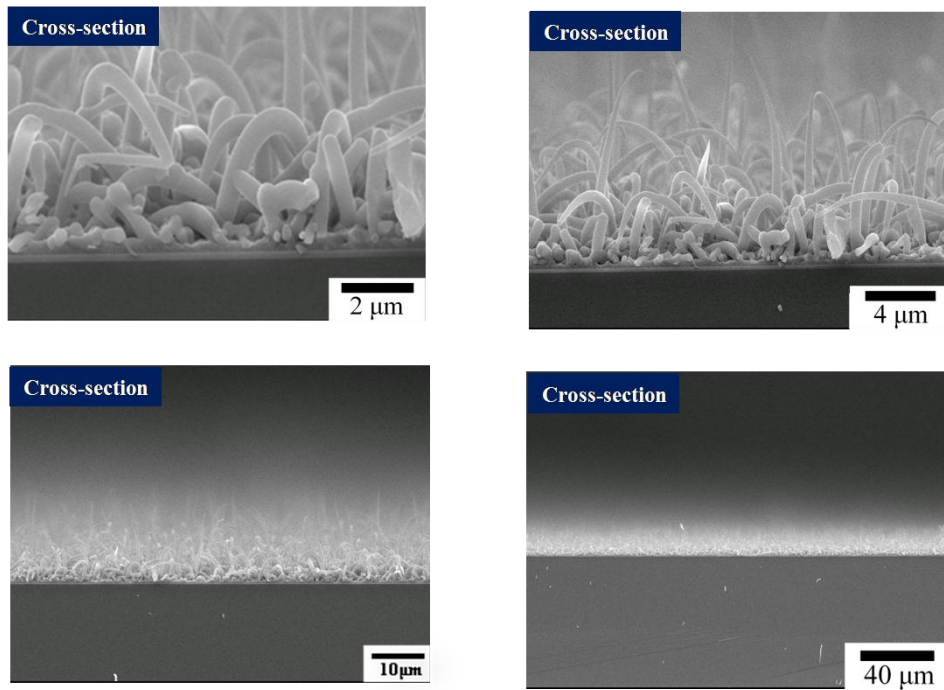
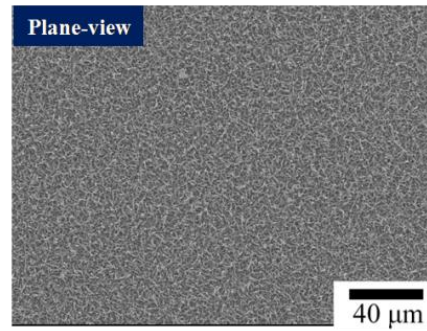
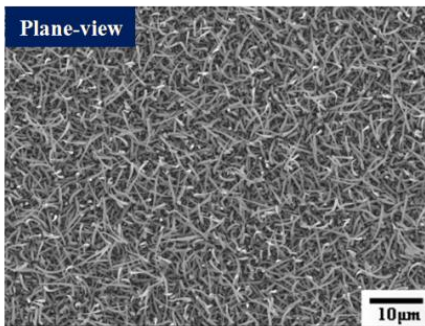
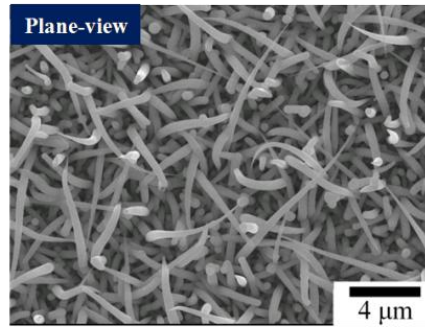


圖4-23 較佳製程條件下壓力1torr之樣品SEM圖A

1Torr 中央

H₂ : 200sccm SiH₄ : 50sccm 電極 : 4cm RF-60W
Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide



1Torr 外圍

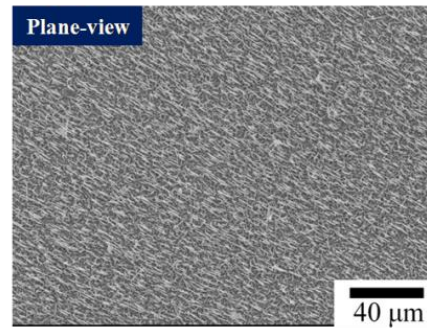
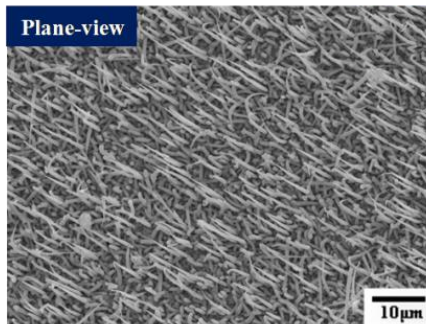
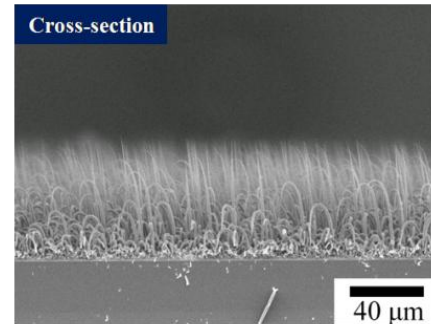
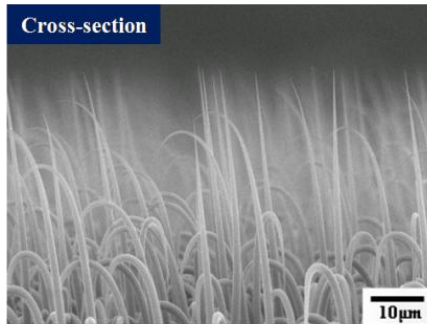
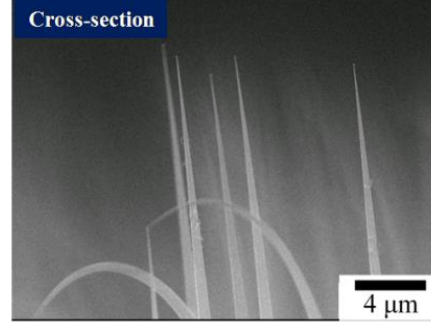
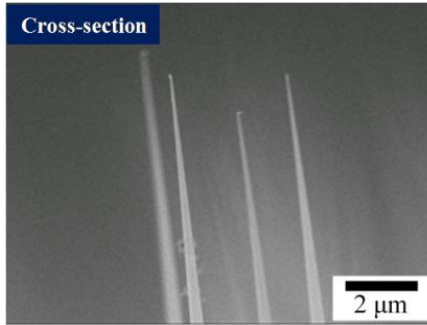


圖4-24 較佳製程條件下壓力1torr之樣品SEM圖B

2Torr 中央

H₂ : 200sccm SiH₄ : 50sccm 電極 : 4cm RF-60W
Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide



2Torr 外圍

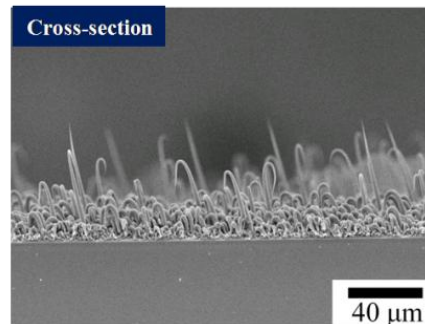
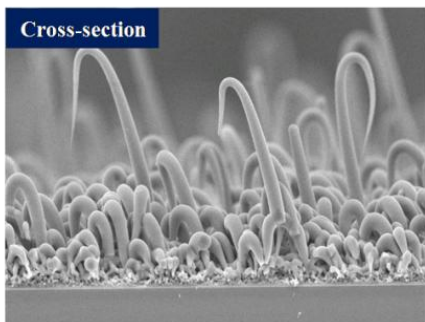
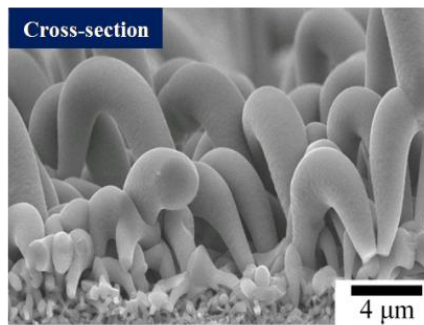
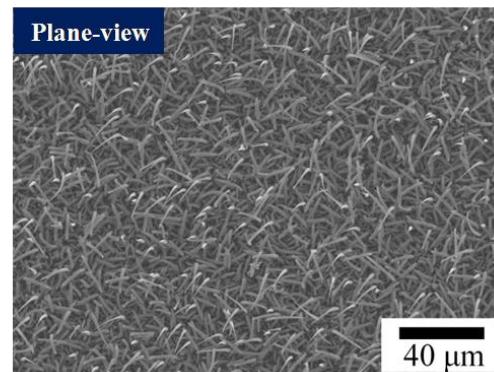
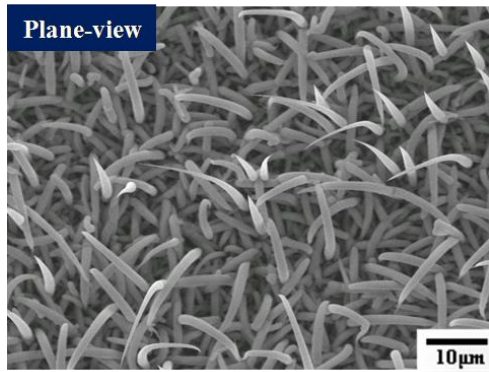
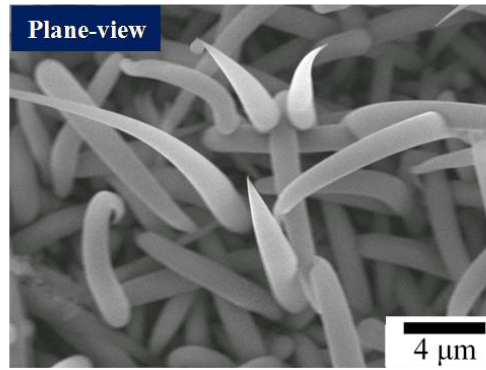


圖4-25 較佳製程條件下壓力2torr之樣品SEM圖A

2Torr 中央



2Torr 外圍

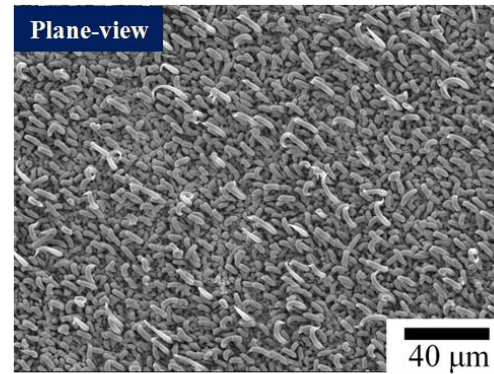
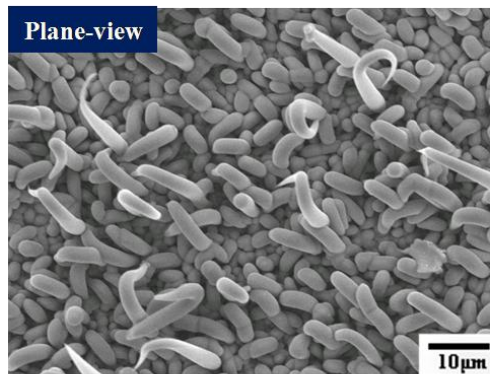
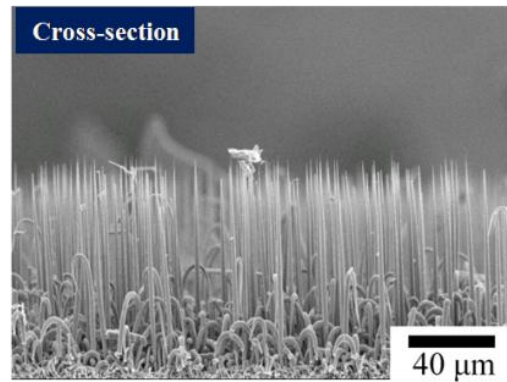
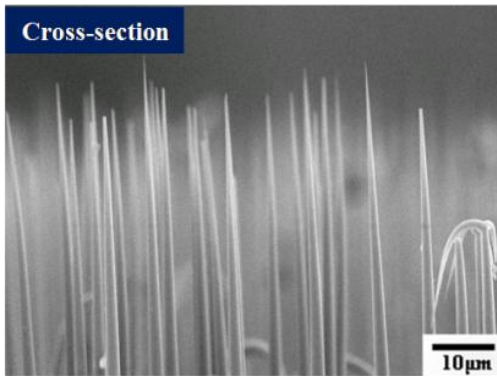
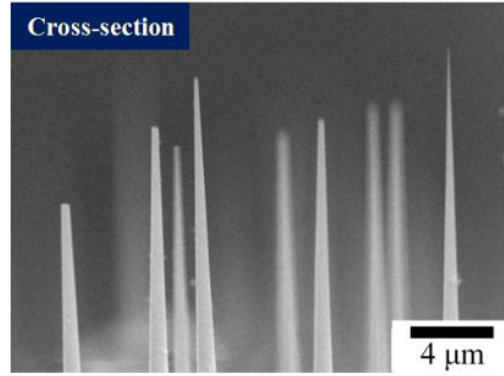
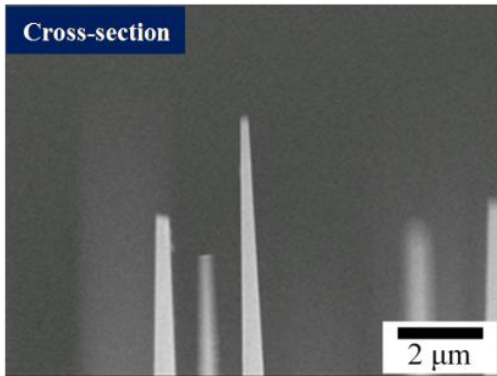


圖4-26 較佳製程條件下壓力2torr之樣品SEM圖B

3Torr 中央

H₂ : 200sccm SiH₄ : 50sccm 電極 : 4cm RF-60W
Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide



3Torr 外圍

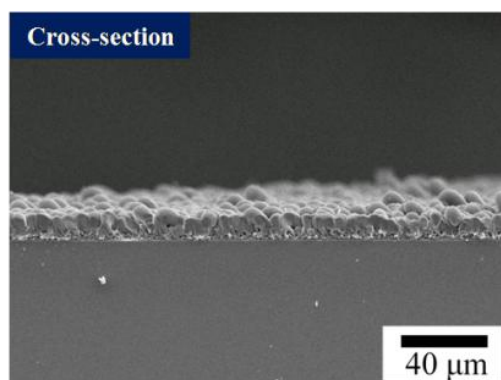
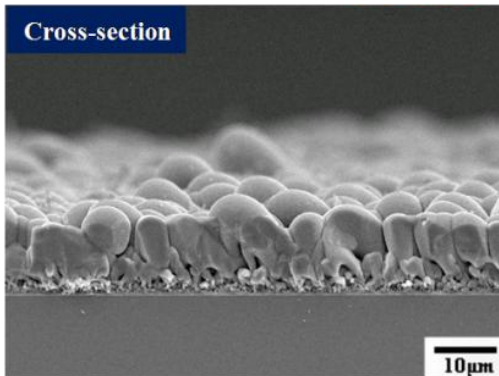


圖4-27 較佳製程條件下壓力3torr之樣品SEM圖

H2 : 200sccm SiH4 : 50sccm 電極 : 4cm Heater : 600°C
 RF-60W Process time : 30min Substrate : Si-oxide

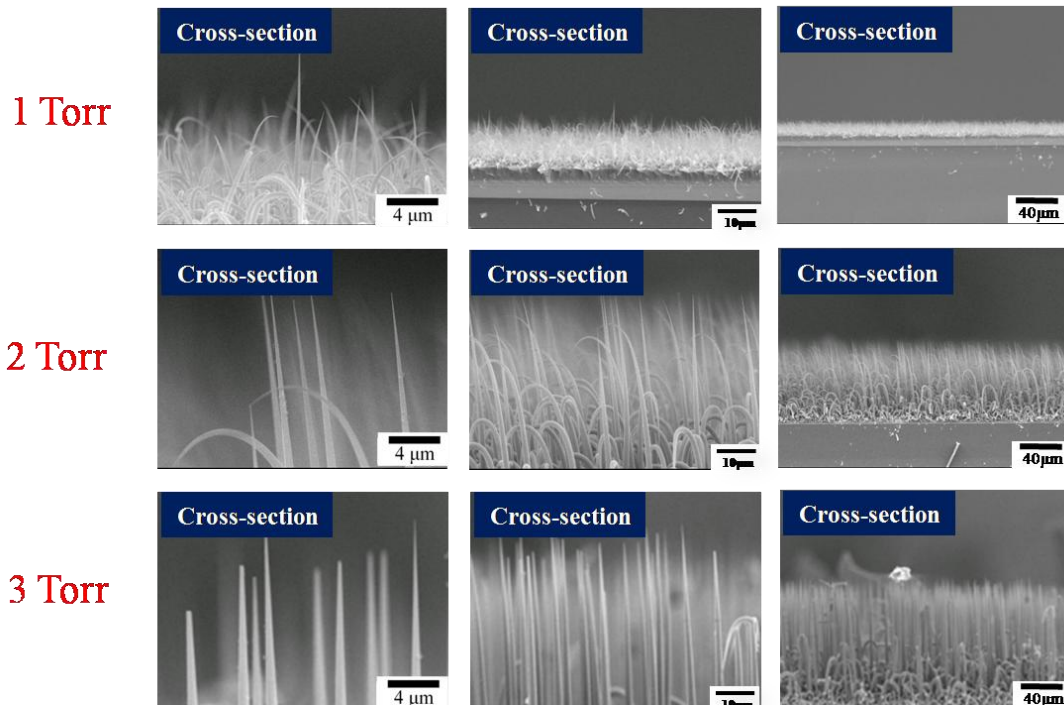


圖4-28 依據較佳製程條件下調變壓力之樣品SEM比較圖

H2 : 200sccm SiH4 : 50sccm 電極 : 4cm RF-50W Pressure : 3Torr
 Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide

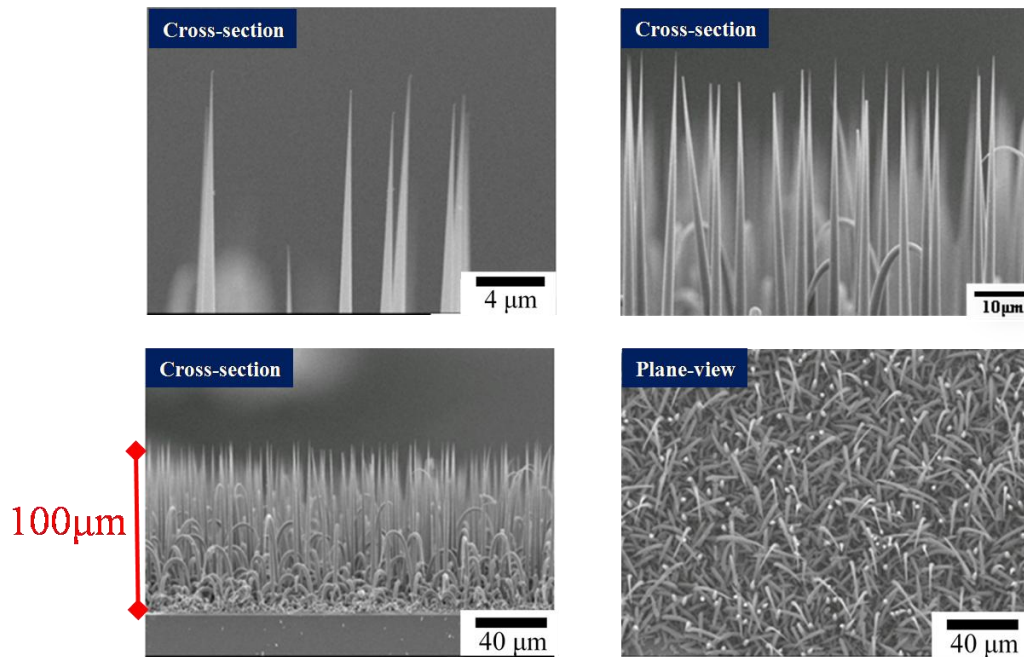


圖4-29 依據較佳製程條件下調變射頻功率50瓦之樣品SEM圖

H₂ : 200sccm SiH₄ : 50sccm 電極 : 4cm RF-60W Pressure : 3Torr
 Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide

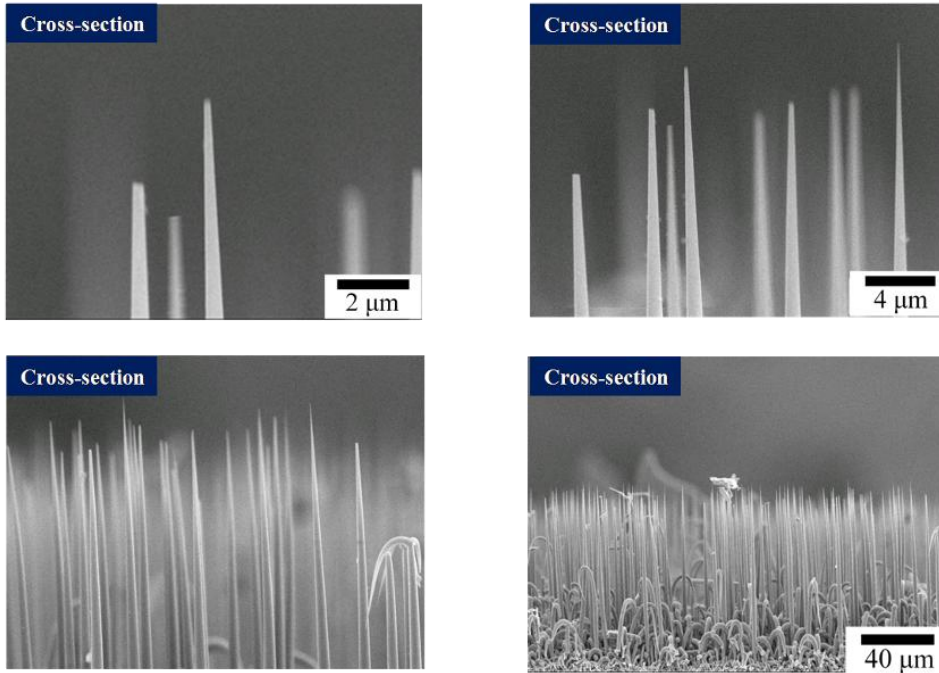


圖4-30 依據較佳製程條件下調變射頻功率60瓦之樣品SEM圖

H₂ : 200sccm SiH₄ : 50sccm 電極 : 4cm RF-70W Pressure : 3Torr
 Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide

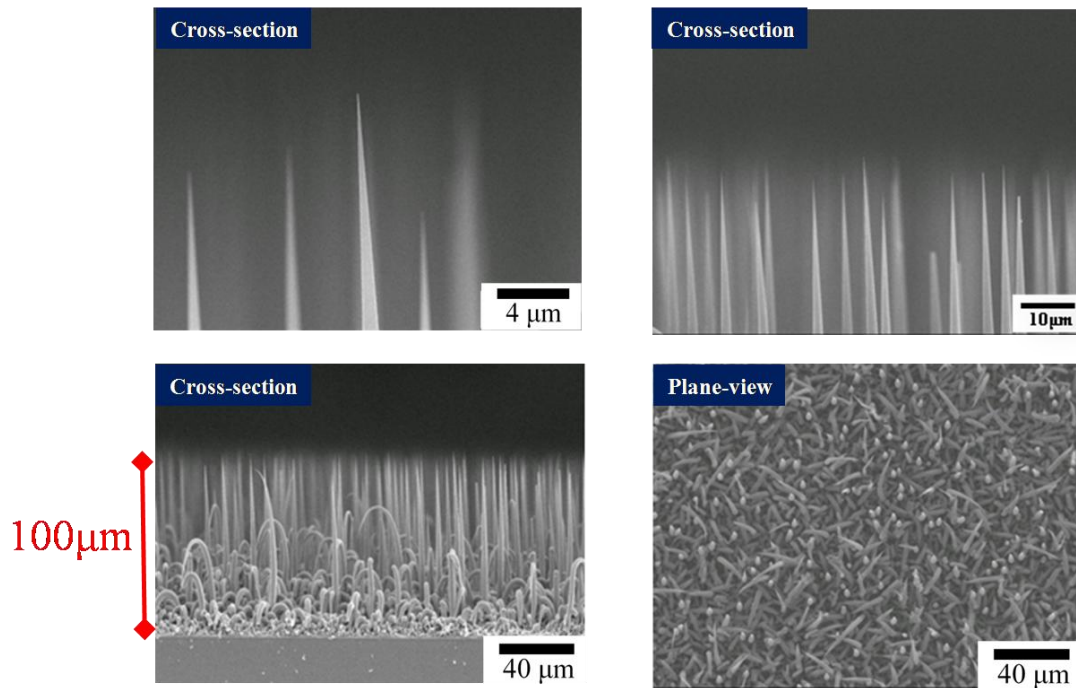


圖4-31 依據較佳製程條件下調變射頻功率70瓦之樣品SEM圖

H2 : 200sccm SiH4 : 50sccm Pressure : 3Torr 電極4cm
 Heater : 600°C Process time : 30min Substrate : Si-oxide

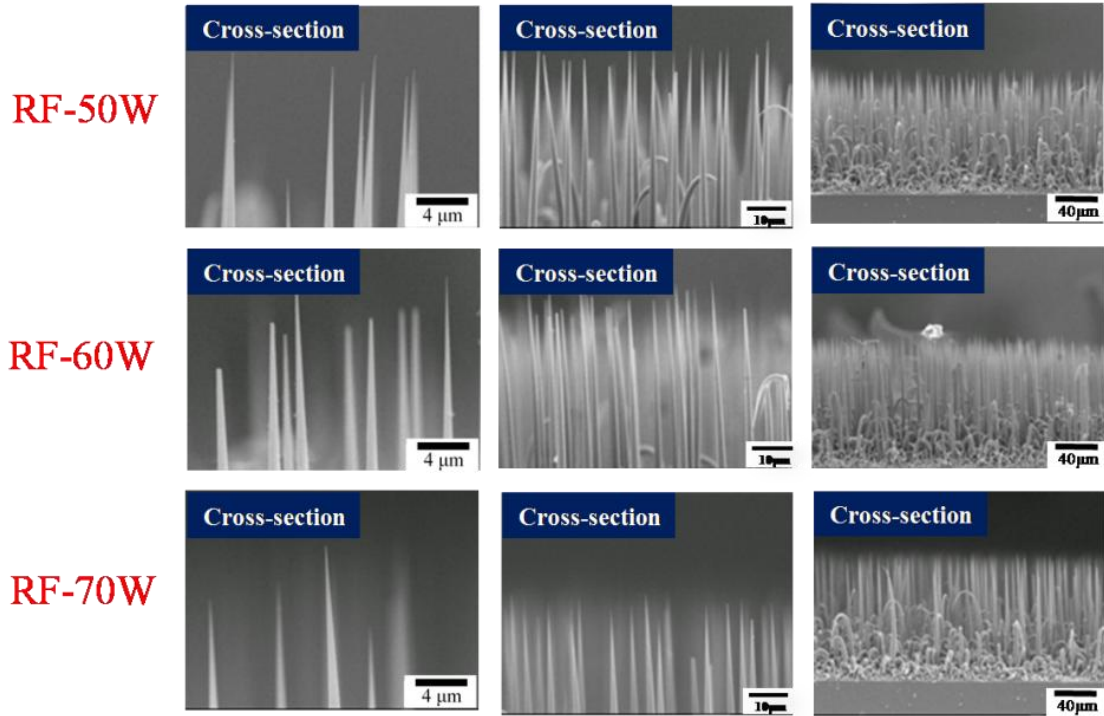


圖4-32 射頻功率50瓦、60瓦、70瓦之樣品SEM比較圖

固定參數					
氫氣	氫氣	矽甲烷	製程溫度	製程時間	製程壓力
200sccm	200sccm	50sccm	600°C	30分鐘	1torr
固定參數			調變參數		
電極距離			射頻功率		
4公分			40瓦、60瓦、80瓦		

表4-1 射頻功率調變參數表

固定參數					
氫氣	氫氣	矽甲烷	製程溫度	製程時間	製程壓力
200sccm	200sccm	50sccm	600°C	30分鐘	1torr
固定參數			調變參數		
射頻功率			電極距離		
60瓦			4公分、6公分、8公分		

表4-2 電極距離調變參數表

固定參數					
氫氣	矽甲烷	製程溫度	製程時間	製程壓力	射頻功率
200sccm	50sccm	600°C	30分鐘	1torr	60瓦
電極距離					
4公分					

表4-3 新製程條件參數表

固定參數					
氫氣	矽甲烷	製程溫度	製程時間	製程壓力	射頻功率
200sccm	50sccm	600°C	30分鐘	1torr	60瓦
固定參數			調變參數		
電極距離			外加偏壓		
4公分			正偏壓50V、負偏壓50V		

表4-4 外加偏壓製程條件參數表

固定參數					
氫氣	矽甲烷	製程溫度	製程時間	製程壓力	射頻功率
200sccm	50sccm	600°C	30分鐘	1torr	60瓦
固定參數			調變參數		
電極距離			下電極接地狀態		
4公分			Floating、Ground		

表4-5 下電極接地狀態製程條件參數表

固定參數					
氫氣	矽甲烷	製程溫度	製程時間	製程壓力	射頻功率
200sccm	50sccm	600°C	30分鐘	1torr	60瓦
固定參數			調變參數		
電極距離			射頻電源供應器		
4公分			高功率40.56MHz/600W 低功率15.68MHz/300W		

表4-6 射頻電源供應器調變參數表

固定參數					
氫氣	矽甲烷	製程溫度	製程時間	製程壓力	射頻功率
200sccm	50sccm	600°C	30分鐘	1torr	60瓦
固定參數			調變參數		
電極距離			氫氣		
4公分			100sccm		

表4-7 氫氣氣體流量調變參數表

調變參數			固定參數		
氫氣	氫氣	矽甲烷	製程溫度	製程時間	製程壓力
100sccm	100sccm	25sccm	600°C	30分鐘	1torr
固定參數					
電極距離			射頻功率		
4公分			60瓦		

表4-8 各製程氣體流量等比例調降參數表

固定參數					
氫氣	氫氣	矽甲烷	製程溫度	製程時間	射頻功率
100sccm	100sccm	25sccm	600°C	30分鐘	60瓦
固定參數			調變參數		
電極距離			製程壓力		
5公分			1torr、3torr、4tor		

表4-9 壓力調變參數表

固定參數					
氫氣	矽甲烷	製程溫度	製程時間	電極距離	射頻功率
200sccm	50sccm	600°C	30分鐘	4公分	60瓦
調變參數					
製程壓力					
1torr、2torr、3tor					

表4-10 依據較佳製程條件下調變壓力參數表

固定參數					
氫氣	矽甲烷	製程溫度	製程時間	電極距離	製程壓力
200sccm	50sccm	600°C	30分鐘	4公分	3torr
調變參數					
射頻功率					
40瓦、60瓦、80瓦					

表4-11 依據較佳製程條件下調變壓力參數表

第五章 結論

依據本研究探討的各項數據而推測，電漿鞘的電場對於矽奈米柱合成的筆直度有很大的關係，而壓力影響電漿密度及電場的分佈。透過觀察邊界效應的影響，電漿效果通常在外圍區域的效果較強，因此當外圍區域的效果，恰好可以使成長的矽奈米柱沿電場方向時，下電極中央區域的電漿效果一定不足；反之，當下電極中央區域可以成功成長出直立性佳的矽奈米柱時，外圍區域的電漿效果一定過強，此時樣品便只會成長出厚厚的一層薄膜。有鑑於此，為了成長出高筆直度與高均勻性的矽奈米柱，就必須將適合的電漿效果侷限在下電極且含蓋基板，便可觀察到矽奈米柱延垂直電場方向，筆直成長。當然要成功合成筆直直立矽奈米柱，除了製程壓力，還必須製程氣體流量、製程射頻功率、電極距離及製程溫度等條件配合。

實驗室現階段設計改良的電漿輔助化學氣相沉積系統，雖然成功地合成筆直直立矽奈米柱，但是仍然有許多必須探討改進的地方。就目前實驗室所探討出的製程條件，也只是較佳的製程條件，對於利用電容耦合式電漿輔助化學氣相系統，進行金屬催化矽奈米柱的合成製程，必定還有最佳的製程條件。

參考文獻

- [1] CHEMISTRY (THE CHINESE CHEM. SOC., TAIPEI) December. 2004 Vol. 62, No.4, pp.569~578
- [2] 物理雙月刊二十八卷二期2006年4月
- [3] 蕭錫鍊、江雨龍(太陽能電池的第二章、第五章)伍南圖書出版股份有限公司, 2009
- [4] Michael D. Kelzenberg et al. Nature Materials Vol 9 March,2010
- [5] Erik Garnett et al. Nano Lett. Vol 10 1082–1087,2010
- [6] B. M. Kayes et al. J. Appl. Phys. 97114302/1 – 114302/11, 2005
- [7] 工業調查會電子材料編輯部(電漿化學)復漢出版社, 1991
- [8] S. Y. Lien(電子材料的電漿的基礎原理、製程與應用)
- [9] 工業調查會電子材料編輯部(電漿化學)復漢出版社, 1991
- [10] 工業調查會電子材料編輯部(電漿化學)復漢出版社, 1991
- [11] 陳勤傑, 東海大學物理系碩士論文, 2009
- [12] 張傑倫, 東海大學物理系碩士論文, 2010
- [13] 沈冠瑜, 東海大學物理系碩士論文, 2010

